

Pertti Vakkilainen — Jyrki Kotola — Jyrki Nurminen (toim.)

Rakennetun ympäristön valumavedet ja niiden hallinta

HELSINKI 2005

*Julkaisu on saatavana myös Internetistä:
<http://www.ymparisto.fi/julkaisut>*

*Suomen ympäristö 776
Ympäristöministeriö
Ympäristönsuojeluosasto*

*Taitto: Marjatta Naukkarinen
Kansikuva: Outi Salminen*

*ISSN 1238-7312
ISBN 951-731-318-7 (nid.)
ISBN 951-731-319-5 (PDF)*

Edita Prima Oy

Helsinki 2005

Esipuhe.....

Ympäristöklusterin tutkimusohjelman toisen ohjelmakauden tutkimusosiossa *Kestävän yhdyskunnan infrastruktuuri EKO-INFRA* tutkittiin vuosina 2001 - 2003 taajamahydrologiaa ja hulevesiä kahdessa erillisessä tutkimushankkeessa: *Kaupunkivedet ja niiden hallinta (RYVE)* sekä *Hulevesiin ja kiinteistöjen kuivatukseen liittyvän lainsäädännön ja hallinnon kehittäminen*.

RYVE:n neljässä osahankkeessa tutkittiin taajama-alueiden hulevesihuuhtoumistta johtuvaa hajakuormituksen määrää Suomessa, suomalaisesta kaupunkirakentamisesta johtuvia muutoksia pienissä valuma-alueissa ja rakennettujen alueiden hydrologiaa pintavalunnan määrään, laatuun ja ainehuuhtoumiin keskittyen sekä laadittiin esite vesistöystävällisestä rakentamisesta ja hulevesien hallintamenetelmistä. RYVE-hankkeeseen liittyvässä diplomityössä selvitettiin mahdollisuuksia rakennettujen alueiden hydrologian luonnonmukaistamiseen kaupunkisuunnittelun ja luonnonmukaisten hulevedenkäsittelymenetelmien avulla.

RYVE-hankkeen tutkimusryhmään kuuluivat Teknillisen korkeakoulun vesitalouden ja vesirakennuksen laboratorio (prof. Pertti Vakkilainen, DI Jyrki Kotola, DI Jyrki Nurminen), Helsingin yliopiston luonnonmaantieteen laboratorio (prof. Matti Tikkanen, FT Olli Ruth, FM DI Paula Kuusisto) ja Suomen ympäristökeskus (MMM Johanna Peltola-Thies, DI Erkki Santala). Yhteistyötä tehtiin Helsingin luonnonsuojeluyhdistys ry:n ja Espoon kaupungin kanssa. Hankkeen vastuullisena johtajana toimi professori Pertti Vakkilainen, joka toimi myös hankkeen ohjausryhmän puheenjohtajana. Hänen ohellaan ohjausryhmään kuuluivat yhdyskuntainsinööri Karl-Erik Blomgren (Kuntaliitto), yli-insinööri Jorma Kaloinen (Ympäristöministeriö), verkostoinsinööri Mika Rontu (Vesi- ja viemärilaitosyhdistys), kehitysinsinööri Erkki Santala (Suomen ympäristökeskus), toimitusjohtaja Pentti Sipi (Espoon vesi).

RYVE-hanketta rahoittivat Ympäristöministeriö, Teknillinen korkeakoulu, Suomen ympäristökeskus sekä Maa- ja vesiteknikan tuki ry. Lisäksi Espoon kaupunki tuki osahankkeen *“Kaupunkialueiden hydrologia - valunnan ja ainehuuhtouman muodostuminen rakennetuilla alueilla”* toteuttamista.

Hulevesiin ja kiinteistöjen kuivatukseen liittyvän lainsäädännön ja hallinnon kehittäminen -hankkeessa selvitettiin hule- ja kuivatusvesien hallinnoinnin ja lainsäädännön nykytilaa ja kehittämismahdollisuuksia. Tehtyjen selvitysten perusteella laadittiin suosituksia hulevesien liittyvän hallinnon ja lainsäädännön kehittämiseksi. Hankkeen toteutti Nordic Envicon Oy ja ohjausryhmän muodostivat Karl-Erik Blomgren (Suomen Kuntaliitto), Jorma Kaloinen (Ympäristöministeriö), Anneli Tiainen (Vesi- ja viemärilaitosyhdistys), Niilo Nissilä (Oulun kaupunki), Osmo Rosti (Jyväskylän kaupunki), Jarkko Roine (Espoon kaupunki) ja Hannu Silvennoinen (Nordic Envicon Oy). Hanke toteutettiin pääosin ympäristöklusterin tutkimusohjelman rahoituksella. Muina rahoittajina ovat olleet Vesi- ja viemärilaitosyhdistys, Suomen Kuntaliitto sekä Espoon, Jyväskylän ja Oulun kaupungit.

Tutkimuskokonaisuuden tärkeimmät tulokset on koottu käsillä olevaan julkaisuun. Hankkeiden varsinaiset raportit ja tutkimuskokonaisuuden tuottamat muut julkaisut on lueteltu liitteessä 1.

Espoossa 12.4.2005

Pertti Vakkilainen

Jyrki Kotola

Jyrki Nurminen

Sisällysluettelo

Esipuhe	3
Sisällysluettelo	5
Tutkimuskokonaisuuden yhteenveto	8
Kaupunkirakentamisen hydrologiset vaikutukset	12
I Kirjallisuustutkimus	12
1.1 Kaupungistumisen vaikutus sadantaan ja haihduntaan	12
1.2 Kaupungistumisen vaikutus valunnan määrään	12
1.3 Kaupungistumisen vaikutus valumaveden laatuun ja ainehuuhtoumaan	13
1.4 Huleveteen liittyvät ongelmat	15
1.5 Kaupungistumisen vaikutukset lumiolosuhteisiin	15
1.6 Kaupungistumisen vaikutukset pohjavesioloihin	16
2 Kokeellinen tutkimus	16
2.1 Tutkimusalueet ja mittausjärjestelyt	16
2.2 Sadanta ja valunta	18
2.3 Valumaveden laatu	22
2.4 Valumaveden ainehuuhtoumat	26
2.5 Muut tulokset	28
2.6 Yhteenveto ja johtopäätöksiä suomalaisten kaupunkialueiden hydrologiasta	29
Rakennetun ympäristön aiheuttama vesistökuormitus	32
I Johdanto	32
2 Arviointitapa	32
2.1 Yleistä	32
2.2 Ominaiskuormitusmäärä	33
2.3 Maankäyttötapojen varaama ala	35
2.4 Maankäyttötietojen tarkkuus	37
2.5 Luonnonhuuhtouma rakennetuilta alueilta	38
2.6 Rakentamisen aikainen huuhtouma	39
3 Tulokset	39
4 Hulevesikuormituksen merkittävyys vesien tilalle	40
5 Yhdyskuntasuunnittelu hulevesikuormituksen kannalta	41
6 Johtopäätökset	44

Valuma-alueiden kaupungistuminen ja sen vesistövaikutukset	45
1 Johdanto.....	45
2 Tutkimusalueet	45
3 Aineisto ja menetelmät.....	47
3.1 Maankäyttö ja uomasto	47
3.2 Valunta ja kuormitus.....	48
4 Tulokset	48
4.1 Valuntakertoimet	52
4.2 Vuosittainen vesistökuormitus	53
4.3 Uomaston muutokset	57
5 Tulosten tarkastelu	58
5.1 Maankäytön muutos ja valunta	58
5.2 Vesistökuormitus ja sen kehitys	59
5.3 Uomaston muutokset	60
6 Johtopäätökset	63
<i>Luonnonmukaisten hulevedenkäsittelymenetelmien ja alue-</i>	
<i>suunnittelun keinoin kohti parempaa taajamahydrologiaa</i>	64
1 Johdanto.....	64
2 Vesitalouden huomioon ottaminen yhdyskuntasuunnittelussa	64
3 Luonnonmukainen hulevedenkäsittely	65
3.1 Huleveden johtaminen.....	66
3.2 Imeytysmenetelmät	66
3.3 Huleveden viivyttäminen	69
3.4 Kosteikko	70
3.5 Luonnonmukaisten hulevedenkäsittelymenetelmien	
yhdistäminen	71
3.6 Kooste hulevedenkäsittelymenetelmistä.....	71
4 Ympäristöystävälliset lumenkäsittelymahdollisuudet	74
5 Muita hulevedenkäsittelymenetelmiä	75
5.1 Öljynerotin	75
5.2 Suodatinkaivot	75
5.3 Kaivosuodatin	76
6 Suomessa toteutetut projektit.....	76
7 Johtopäätökset	76
<i>Hulevedet ja kiinteistöjen kuivatus</i>	
<i>Hallinnon ja lainsäädännön kehittäminen</i>	78
1 Johdanto.....	78
2 Selvitykset ja niiden tulokset.....	79
2.1 Hulevesien määrä, laatu ja ainepitoisuudet	79
2.2 Hule- ja kuivatusvesien hallinnan nykytila	82
2.3 Hulevesiä koskevan sääntelyn kuvailu ja kehittäminen	84

3 Johtopäätökset ja suositukset	87
Lähdeluettelo	90
Liitteet	96
Liite 1 Tutkimuskokonaisuuden tuottamat muut julkaisut	96
Liite 2 Arviossa huomioitujen SLICES-alueiden käyttöluokkien kuvaus.	97
Liite 3 Hulevesikuormitus päävesistöalueittain	99
Liite 4 Alueellisen hulevesisuunnitelman alustavia rajauksia ja sisältöä.	111
Kuvailulehdet	113

Tutkimuskokonaisuuden yhteenveto

Kaupungistumisen vaikutukset sadantaan, haihduntaan ja valuntaan

Isoissa kaupungeissa sademäärien on havaittu olevan keskimäärin 10 % suurempia kuin ympäröivällä maaseudulla. Yleensä kaupungistuminen vähentää haihduntaa. Kasvillisuuden vähyys ja vedet alueelta nopeasti pois johtavien päällystettyjen pintojen suuri pinta-ala ovat rakennetulla alueella haihduntaa pienentäviä tekijöitä. Haihdunnan vähentyminen merkitsee kokonaisvalunnan lisääntymistä. Kaupungistuminen lisää pintavaluntaa voimakkaasti, mutta toisaalta yleensä vähentää pintakerros- ja pohjavesivaluntaa. Kaupunkialueen päällystetyt pinnat vähentävät veden imeytymistä maaperään ja edelleen pohjaveteen. Tällöin pohjaveden pinta tavallisesti alenee ja pohjavesivirtaus uomiin pienenee. Tämä saattaa aiheuttaa uoman virtaaman pienenemistä kuivan kauden aikana.

Pintavalunnan määrä rakennetuilla alueilla

Mitä enemmän alueella on päällystettyä pintaa, sitä nopeammin ja tehokkaammin sadanta muuttuu pintavalunnaksi. Sadanta-valuntatapahtuman valuntakerroin (välittömän valunnan ja sadannan suhde) vaihtelee suuresti samallakin alueella, ollen yleensä sitä suurempi mitä suurempi on tapahtuman sademäärä. Toisaalta, paljon päällystettyä pintaa sisältävillä alueilla pienikin sade voi aikaansaada suuren valuntakertoimen. Selvimmin kaupunkirakentamisen pintavaluntaa lisäävä vaikutus ilmenee kesäisin ja sateettoman kauden jälkeen sekä erityisesti pienten sateiden yhteydessä.

Suomalaisilla kaupunkialueilla sadanta-valuntatapahtumien keskimääräinen valuntakerroin on yleisesti noin puolet alueen päällystettyjen pintojen osuudesta. RYVE:n osahankkeessa *“Kaupunkialueiden hydrologia - valunnan ja ainekuormituksen muodostuminen rakennetuilla alueilla”* sadanta-valuntatapahtumien valuntakerroin oli Laaksoahden tutkimusalueella keskimäärin 0,04 ja Vallikallion tutkimusalueella keskimäärin 0,18. Vastaavasti päällystettyä pinta-alaa alueilla oli noin 20 ja 50 %. RYVE:n osahankkeen *“Kaupunkirakentamisen aiheuttama valuma-alueiden ja vesistöjen muuttuminen sekä sen seuraukset Suomessa”* tutkimusalueilla pintavalunnan osuudeksi arvioitiin 14 - 32 % sadannasta päällystettyjen pintojen osuuden ollessa 17 - 24 % koko pinta-alasta. Tarkastelun alkutilanteessa 1930 - 50 -luvulla päällystettyä pintaa oli 2 - 3 % ja pintavalunnan osuus oli 7 - 22 % sadannasta.

Pintavalunnan laatu ja ainehuuhtouma rakennetuilla alueilla

Yleensä kaupungistuminen heikentää pintavesien laatua. Kaupungissa vesiin pääsee lika-aineita mitä moninaisimmista lähteistä, minkä lisäksi kaupunkialueen vesien laatua heikentää luonnollisten vettä puhdistavien elementtien vähyys. Hulevedet voivat sisältää haitallisia ja myrkyllisiä yhdisteitä. Huleveden laadussa on vaikea havaita maankäyttömuodoista johtuvia eroja, mutta esimerkiksi asuinalueiden hulevedessä on yleensä enemmän fosforia ja bakteereja kuin muiden kaupunkimaisten alueiden hulevesissä. Yleensä hulevesi on sitä huonompaa, mitä tehokkaammin alue on rakennettu.

Valumaveden keskimääräiset kokonaistyyppi-, kokonaisfosfori- ja kiintoainepitoisuudet sekä kemiallinen hapenkulutus olivat Vallikallion kerrostaloalueella korkeammat kuin Laaksoalahden pientaloalueella. Huleveden sähkönjohtavuus sitä vastoin oli keskimäärin korkeampi Laaksoalahdessa.

Huleveden laatu vaihtelee myös samassa tarkastelupisteessä muun muassa sadeoloista ja vuodenajasta johtuen. Laaksoalahden ja Vallikallion tutkimusalueiden valumavedestä mitattu suurin kiintoainepitoisuus oli noin 2 000-kertainen pienimpään havaittuun pitoisuuteen verrattuna. Usein huleveden laatu on huonommillaan sateiden alussa, jolloin vesi huuhtoo päällystetyille pinnoille kertyneen lian. Varsinkin keskusta-alueilla huleveden laatu on sulamiskaudella monesti huonompi kuin sulan kauden aikana. Sulan kauden aikana ainepitoisuudet ovat useimmiten suurimmillaan rankkojen sateiden yhteydessä. Laaksoalahden ja Vallikallion tutkimusalueilla valumaveden sähkönjohtavuus oli korkein talvella ja keväällä. Valumaveden kemiallinen hapenkulutus, kokonaisfosfori-, kokonaistyyppi- ja kiintoainepitoisuudet vaihtelivat suuresti. Suurimmat COD_{Mn}-arvot havaittiin molemmilla alueilla kesällä, Vallikalliossa keskimääräinen kokonaistyyppipitoisuus oli talvella ja keväällä korkeampi kuin kesällä, kokonaisfosfori- ja kiintoainepitoisuudet olivat keskimäärin korkeammat loppukevällä ja kesällä kuin lumikaudella.

Kaupunkirakentaminen lisää valumavesien aiheuttamia ainehuuhtoumia. Joissakin tapauksissa kaupunkialueen hulevesihuutouma voi olla merkittävä vesiympäristön kuormittaja. Mitä suurempi osa alueesta on päällystetty vettä läpäisemättömäksi, sitä suurempi on yleensä ainehuutouma. Huutoumat ovat suuria sekä sulantakaudella että sulan kauden sateiden aikana. Vallikallion kerrostaloalueella huutoumat olivat suurempia kuin Laaksoalahden pientaloalueella. Alueiden vuosihuutoumat olivat: kiintoaine 20 000 ja 10 000 kg/km²/a, kokonaisfosfori 40 ja 20 kg/km²/a, kokonaistyyppi 900 ja 500 kg/km²/a sekä orgaaninen aine, COD_{Mn}, 4 000 ja 3 000 kg/km²/a O₂.

Rakentamistoiminta huonontaa valumaveden laatua ja lisää ainehuuhtoumia. Varsinkin kiintoaineen pitoisuudet ja ainehuutoumat voivat olla rakentamisen aikana moninkertaisia rakennettuun alueeseen nähden. RYVE:n osahankkeen *“Kaupunkialueiden hydrologia - valunnan ja ainekuormituksen muodostuminen rakennetuilla alueilla”* kaupungistuvalla Saunalahdenrannan tutkimusalueen valumavedestä mitattiin maanrakennustöiden aikana korkeita ainepitoisuuksia: esimerkiksi huhtikuun 2002 keskimääräinen kiintoainepitoisuus oli 11-kertainen ja kokonaisfosforipitoisuus 5-kertainen Vallikallion valumaveden pitoisuuksiin nähden. Huutoumat (kg/km²) olivat vastaavasti 15- ja 7-kertaiset.

Kaupunkirakentamisen myötä pintavalunnan mukana vesistöihin huuhtoutuvat raskasmetallikuormat ovat kasvaneet. Sen sijaan ravinnehuutoumat, varsinkin typen osalta ovat peltoalueilla usein suurempia kuin kaupungissa. RYVE:n osahankkeessa *“Kaupunkirakentamisen aiheuttama valuma-alueiden ja vesistöjen muuttuminen sekä sen seuraukset Suomessa”* arvioitiin sinkki- ja kuparihuutoumien 2 - 4 -kertaistuneen 50 - 65 viime vuoden aikana voimakkaasti kaupungistuneilla tutkimusalueilla. Suomalaisilla kaupunkialueilla on mitattu seuraavia ravinnehuutoumia: tot-N 200 - 1 000 ja tot-P 20 - 200 kg/km²/a. Pellon tyyppihuutouma on tavallisesti noin 1 000 kg/km²/a ja fosforihuutouma noin 100 kg/km²/a. Kiintoaineen huutouma on suomalaisissa kaupunkialueiden hulevesitutkimuksissa vaihdellut laajasti: alle 10 000 - 120 000 kg/km²/a.

Rakennetun ympäristön aiheuttama kuormitus

Koko maan tasolla rakennettu ympäristö on kuudenneksi suurin vesistöjen typen (1,5 %) ja fosforin (2,1 %) kuormituslähde. Kuormitus on kertaluokkaa pienempi kuin maatalouden kuormitus ja puolet metsätalouden hajakuormitukses-

ta. RYVE:n osahankkeen ”*Taajamien aiheuttaman aiheuttaman hajakuormituksen arviointi*” tulosten mukaan rakennetun ympäristön fosfori- ja typpikuormitus on suurempi kuin teollisuuden (poislukien massa- ja paperiteollisuus) ja noin puolet haja-asutuksen päästöistä. Suomen Itämeren suojeluohjelmassa ja Vesiensuojelun tavoitteet 2005 –ohjelmassa teollisuus ja haja-asutus on sidottu vähentämään päästöjään. Tämän perusteella tulisi myös rakennetun ympäristön aiheuttaman kuormituksen kansallisen tason koordinoitua ja vähentämistä vaatia.

Hulevesikuormitus keskittyy 748 taajaman yhteyteen, joten sen merkitys korostuu hulevesien purkualueilla ja purkuvesistöissä. RYVE:n osahankkeessa ”*Kaupunkirakentamisen aiheuttama valuma-alueiden ja vesistöjen muuttuminen sekä sen seuraukset Suomessa*” saadut tulokset viideltä pieneltä kaupunkialueelta sisältävältä valuma-alueelta osoittivat hulevesien aiheuttavan selvästi yli puolet koko valuma-alueen kiintoaine- ja fosforikuormasta ja noin puolet typpikuormasta. Hulevesiä vastaanottavien pienten vesialueiden ja vesistöjen tilan kannalta kuormituksen vähentämistä tulee harkita.

Ilman hulevesikuormituksen vähentämistekniikoiden käyttöönottoa kerrostaloasuminen näyttäisi olevan vesisuojelun kannalta edullisin asumismuoto. Tämä johtopäätös perustuu pääosin 1950-90 –luvulla rakennettujen alueiden ominaiskuormitustietoihin. Suomessa tarvitaan tutkimustietoa uusien alueiden aiheuttamasta kuormituksesta sekä hulevesien hallintatekniikoiden tehokkuudesta erityyppisillä taajama-alueilla. Lisäksi pitkäaikainen seuranta asuinalueilta, rakennettavilta alueilta sekä keskusta- ja teollisuusalueilta on tarpeen kuormitusarvojen tarkentamiseksi. Myös liikenteen aiheuttama hulevesikuormitus olisi selvitettävä.

Kaupungistumisen vaikutus pieniin vesistöihin

Taajama-alueilla purojen uomasto pysyy vain harvoin luonnontilaisena. Päälystetyn pinnan määrät ovat esikaupunkialueillakin niin suuria, että vesistöjen fyysisissä tai ekologisissa tekijöissä tapahtuneet tai tapahtuvat muutokset ovat todennäköisiä ja saattavat olla paikoin jopa voimakkaita.

Uoman muokkausasteella on havaittu olevan selkeä yhteys uoman virtaukseen ja habitaattityyppien määrään, mutta muokkausten ekologisista vaikutuksista ei ole vielä tarpeeksi tutkimustietoa. Purojen maisemallinen ja virkistyskäytöllinen arvo kuitenkin tukee niiden säilyttämistä avoimina myös taajamaympäristössä. Lähellä luonnontilaa olevissa uomissa vesieliöstön elinolosuhteet ovat monipuoliset, virtaukset vaihtelevat ja särkkien määrä on suuri. Voimakkaasti muokatuissa uomissa eliöstön elinolosuhteet ovat yksipuoliset ja uoman muutoksilla voi olla ratkaiseva merkitys muun muassa purojen kalastolle.

RYVE:n osahankkeessa ”*Kaupunkirakentamisen aiheuttama valuma-alueiden ja vesistöjen muuttuminen sekä sen seuraukset Suomessa*” tutkimusalueiden kaupungistuessa uomapituus 2-4 -kertaistui 1930 - 50 -luvulta nykypäivään. Pääosin uomapituuden kasvu selittyy putkitetuilla hulevesiviemäreillä. Nykypäivänä uomapituudesta yli puolet on putkitettu, kun taas alkutilanteessa uomat olivat kokonaisuudessaan avouomia.

Tutkimusalueiden purojen uomastosta 0 - 50 % on säilynyt täysin tai lähes luonnontilaisena, voimakkaasti muokattua tai putkitettua uomastoa on 0 - 54 %. Voimakkaimmin muokatut uomaosuudet sijaitsevat pääosin teollisuusalueilla tai hyvin tiiviillä kerrostaloalueilla. Suurin osa luonnontilaisena säilyneistä uomista sijaitsee tutkimusalueiden rakentamattomilla osilla ja osin myös pientaloalueilla.

Hule- ja kuivatusvesien sääntelyn ja hallinnon nykytila ja uudistustarve

Hule- ja kuivatusvesien johtaminen ja hallinta on kokonaisuus, jonka osapuolina ovat kiinteistöt, kunta (osin myös valtio) ja vesihuoltolaitos. Kuivatuskysymyk-

siin liittyvät vastuut ja velvoitteet ovat viime aikoina nousseet esille erityisesti rakennusten kosteus- ja homeongelmien takia. Sääntelyssä hulevedet ja kiinteistöjen kuivatusvedet ovat kulkeneet pääasiassa viemäriverisien yhteydessä. Tämä ei välttämättä ole perusteltua, sillä hulevesien ja kiinteistöjen kuivatusvesien synty ja luonne poikkeaa huomattavasti viemäriverisistä. Suomessa uutena asiana on noussut esille kysymys hule- ja kuivatusvesien pilaavasta vaikutuksesta ja ympäristönsuojelullisen valvonnan tarpeesta.

Tutkimushankkeen *”Hulevesiin ja kiinteistöjen kuivatukseen liittyvän lainsäädännön ja hallinnon kehittäminen”* osana toteutettiin erityyppisissä kunnissa omaksutujen käytäntöjen ja kuntien vastuuhenkilöiden mielipiteiden kartoittamiseksi kuntakysely. Kyselyn ja tehtyjen selvitysten perusteella on ilmeistä, että hule- ja kuivatusvesien johtamiseen ja hallinnointiin on muodostunut toimivia, jonkin verran toisistaan poikkeavia käytäntöjä eikä merkittäviä puutteita koeta olevan. Lainsäädäntö on kuitenkin hajanaista ja osin päällekkäistä, mikä aiheuttaa sekaannusta ja riitoja varsinkin tontinomistajien välille. Vedenjohtamisoikeuksien eli rasitteiden perustamisen osalta päällekkäisten ja vaihtoehtoisten menettelyjen karsiminen on tarpeen. Myös johtamisesta aiheutuvan haitan ja vahingon korvausmenettely tulisi yhtenäistää. Tulevaisuudessa hule- ja kuivatusvesien keruu ja johtaminen tulisi suunnitella asemakaavoitukseen kytkettynä kokonaisjärjestelmänä, jossa huomioitaisiin muun muassa mahdolliset haitta-ainepäästöt.

Kaupungistumisen aiheuttamien hydrologisten muutosten sekä hulevesiin liittyvien ongelmien vähentäminen

Kaupungistumisen aiheuttamia hydrologisia muutoksia ja niiden synnyttämiä vesistövaikutuksia voidaan ehkäistä hydrologiset tekijät huomioon ottavan kaupunkisuunnittelun avulla. Suunnittelualuetta tarkastellaan valuma-alueena, josta kartoitetaan vesitalouden kannalta tärkeät imeytymis- ja kerääntymisvyöhykkeet sekä rakentamista parhaiten kestävät rinnealueet. Suunnittelun avulla luonnolliset hydrologiset olosuhteet pyritään säilyttämään mahdollisimman hyvin ja rakentaminen kohdentamaan alueille, joilla hydrologiset vaikutukset ovat vähäisimpiä. Luonnonmukaisia hydrologisia olosuhteita voidaan ylläpitää minimoimalla rakennettavan alueen läpäisemättömän pinnan määrä, säilyttämällä maaperän luonnolliset imeytymisominaisuudet sekä alavat maastonkohdat ja painanteet. Huleveden syntymistä voidaan vähentää minimoimalla päällystetyn ja vettä läpäisemättömän pinnan määrä.

Päällystetyillä pinnoilla muodostunut hulevesi voidaan imeyttää maaperään, jolloin vesistöihin kohdistuva hulevesikuormitus pienenee. Imeyttämisen lisäksi hulevettä voidaan käsitellä erilaisilla luonnonmukaisilla johtamis-, viivyttämis- ja laskeutusmenetelmillä. Näillä menetelmillä voidaan parantaa hulevettä vastaanottavan vesistön tilaa vähentämällä huleveden määrää, tasaamalla virtaamavaihteluita ja parantamalla veden laatua. Lisäksi voidaan ylläpitää sekä pohjavesi- että pintavesivarastoja ja maan kosteustasapainoa ja parantaa asuin ympäristön viihtyisyyttä. Luonnonmukaisia käsittelymenetelmiä ovat muun muassa läpäisevät pinnoitteet, avo-ojat, kasvillisuuspainanteet, viivytyks- ja imeytysaltaat sekä kosteikot.

Kaupunkirakentamisen hydrologiset vaikutukset

Jyrki Kotola

jkotola@water.hut.fi

Teknillinen korkeakoulu, Vesitalouden ja vesirakennuksen laboratorio

Jyrki Nurminen

Jyrki.Nurminen@tkk.fi

Teknillinen korkeakoulu, Vesitalouden ja vesirakennuksen laboratorio

I Kirjallisuustutkimus

I.1 Kaupungistumisen vaikutus sadantaan ja haihduntaan

Monissa eri puolilla maailmaa tehdyissä tutkimuksissa on todettu, että kaupungistuminen vaikuttaa sadantaa lisäävästi. Yleisesti sademäärien on havaittu lisääntyneen noin 10 %, mutta yksittäisissä tutkimuksissa lisäystä on ollut enemmänkin. Esimerkiksi Bremenin kaupungin keskustan sadannan 15 vuoden keskiarvojen havaittiin olleen 16 % suurempia kuin keskustan ulkopuolisessa satamassa (Kuprianov 1974). Sadetapahtuman todennäköisyyden lisääntymiseen kaupunkialueella vaikuttavat useat eri tekijät, kuten saastumisen aiheuttama ilmassa tapahtuva lisätiivistyminen, pintojen karkeuden aiheuttama ilmavirtojen pyörteisyys sekä kohonneesta lämpötilasta johtuva lisääntynyt lämmön kuljetuminen kaupunkialueen yläpuolella.

Kaupunkialueella haihdunta on yleensä suhteellisen vähäistä. Maaseutuun verrattuna kaupungissa haihduntaa pienentäviä tekijöitä ovat kasvillisuuden vähyys ja päällystettyjen pintojen suuri määrä. Kaupungistumisen edetessä puita ja muuta kasvillisuutta poistetaan, jolloin kasvien elintoimintoihin liittyvä haihdunta ja kasvien pinnoille pidätyneen veden haihdunta vähenevät. Päällystetyiltä pinnoilta sadevesi johdetaan nopeasti pois, jolloin vain vähäistä haihtumista ehtii tapahtua. Etelä-Ruotsissa tehdyssä tutkimuksessa (Hogland 1986) havaittiin, että haihdunta oli kaupungin keskustassa noin 30 % vähäisempää kuin ympäröivällä maaseutualueella.

I.2 Kaupungistumisen vaikutus valunnan määrään

Yleensä kaupungistuminen lisää valuntaa, koska pintavalunnan määrä lisääntyy voimakkaasti. Pintakerros- ja varsinkin pohjavesivalunta sitä vastoin yleensä vähenee. Luonnontilaisilla ja maatalousvaltaisilla valuma-alueilla syntyy vain vähän pintavaluntaa. Valuma-alueen kaupungistuessa päällystettyjen ja vettä läpäisemättömien pintojen osuus kasvaa, mikä vähentää imeyntää ja lisää pintavaluntaa, josta rakennetussa ympäristössä käytetään usein nimitystä hulevesi. Rakennetuilla alueilla sade- ja sulamisvedet muodostavat pintavaluntaa nopeammin ja pintavalunnan ajalliset vaihtelut ovat suurempia kuin rakentamattomilla alueilla. Kanadalaisessa tutkimuksessa pintavalunnan osuus sadannasta oli ennen alueen kaupungistumista 10 % ja kaupungistumisen jälkeen 35 % (Control of pollution from urban runoff 1983 ref. Melanen 1986). Etelä-Ruotsissa kaupun-

kia ympäröivällä maaseudulla 32 % ja kaupungin keskustassa 55 % sadannasta muodosti valuntaa, josta keskustassa 75 % oli pintavaluntaa (Hogland 1986).

Tässä yhteydessä valuntakertoimella tarkoitetaan sateen tai sulannan synnyttämän välittömän valunnan ja tapahtuman sadannan ja sulannan osamäärä. Yleensä alueen keskimääräinen valuntakerroin on hieman pienempi kuin valuma-alueen päällystettyjen, vettä läpäisemättömien pintojen osuus kokonaispinta-alasta. Rakennettujen alueiden valuntakertoimet vaihtelevat laajasti ja valuntakertoimessa voi olla huomattavaa vaihtelua myös samalla alueella. Esimerkiksi italialaisella kaupunkivaluma-alueella (pinta-alasta 42 % päällystetty) valuntakerroin vaihteli 0,01 ja 0,84 välillä (Calomino & Paoletti 1994 ref. Becciu & Paoletti 1997). Valtakunnallisessa hulevesitutkimuksessa (Melanen 1982) laskettiin sadanta- ja hulevesimittausten perusteella sadanta-valuntatapahtumien valuntakertoimia, jotka vaihtelivat voimakkaasti kaikilla tutkimusalueilla. Keskimäärin suurin valuntakerroin oli pienimpään nähden lähes 20-kertainen. Valuntakerroin oli yleensä pienempi kuin päällystettyjen pintojen osuus koko valuma-alueesta. Tutkimuksessa todettiin, että alueen päällystettyjen pintojen osuus määrää selvästi tapahtuman valuntakertoimen suuruuden.

Kaupungistumisesta aiheutuva pintavalunnan kasvu on suurinta pienten usein toistuvien sateiden yhteydessä. Denverissä (USA) havaittiin, että virtaamahuippu oli keskimäärin kerran 100 - 5 vuodessa sattuvan sateen yhteydessä kaupunkialueella 1,8 - 3,0 -kertainen ja keskimäärin kerran kahdessa vuodessa sattuvan sateen yhteydessä 40 - 60 -kertainen rakentamattomaan alueeseen verrattuna (Urbonas & Benik 1995).

1.3 Kaupungistumisen vaikutus valumaveden laatuun ja ainehuhtoumaan

Yleensä kaupungistuminen heikentää pintavaluntavesien laatua. Kaupungissa vesiin pääsee vesistöjä kuormittavia aineita mitä moninaisimmista lähteistä, kuten liikenteestä, teollisuudesta, rakennuksista, eläinten jätöksistä ja jätteiden käsittelystä. Päästölähteiden lisäksi kaupunkialueen pintavaluntavesien laatua heikentää luonnollisten pintavettä puhdistavien elementtien, kuten avo-ojien, lamikoiden ja kosteikkojen, vähyys. Kaupungin virtavesien ainepitoisuudet ovat yleisesti 1 - 2 kertaluokkaa suurempia kuin metsäisten valuma-alueiden vastaavat (Snodgrass et al. 1999). Huleveden laatu voi kuitenkin olla hyvin erilainen eri kaupunkialueilla. Laatu vaihtelee myös samassa tarkastelupisteessä muun muassa sadeoloista ja vuodenajasta johtuen. Duncan (1999) teki maailmanlaajuisen kirjallisuusselvityksen huleveden laadusta. Kaupunkien hulevesien laadussa oli vaikea havaita maankäyttömuodoista johtuvia eroja. Yleensä asuinalueiden hulevedessä oli vähemmän metalleja ja orgaanista hiiltä sekä toisaalta enemmän fosforia ja bakteereja kuin muiden (teollisuus- ja liikealueet sekä muut alueet) rakennettujen alueiden hulevesissä. Aukastiheyden kasvaessa lisääntyi yleensä myös huleveden biologinen hapenkulutus, kokonaistyyppipitoisuus sekä fekaalisten koliformien määrä. Mitä suurempi oli kaupunkialueen vuosisadanta sitä pienempiä olivat useimpien aineiden pitoisuudet hulevesissä. Yleensä hulevesitutkimuksissa on pyritty löytämään yhteys veden laadun ja vuosisadannan, läpäisemättömien pintojen määrän, aukastiheyden ja liikennemäärän avulla. Duncanin (1999) mukaan tärkeitä huleveden laatuun vaikuttavia tekijöitä voivat olla kallio- ja maaperän geologinen ikä sekä sateen intensiteetti.

Valtakunnallisessa hulevesitutkimuksessa 1977 - 79 (Melanen 1982) hulevesinäytteistä tutkittiin lähes 30 erilaista fysikaalista, kemiallista ja biokemiallista parametria. Valtakunnallisen hulevesitutkimuksen kaupungistuneimman keskustan alueen ja vähiten kaupungistuneen pientaloalueen huleveden laatua verrattiin samanaikaisesti toteutetun metsä- ja peltovaltaisen (40 % peltoa) valuma-alueen

valumavesitutkimuksen (Maasilta et al. 1980) tuloksiin. Kaupunkialueiden hulevesien pitoisuuksien havaittiin olevan lähes kaikkien laatuparametrien osalta suurempia kuin metsävaltaisen vertailualueen. Poikkeuksen teki sulan kauden aikainen sulfaattipitoisuus molemmilla kaupunkialueilla sekä sähkönjohtavuus pientaloalueella. Suurimmat erot olivat lyijypitoisuuksissa ja yli 10-kertaisia keskimääräisiä pitoisuuksia oli myös hulevesien kiintoaineen, kokonaisfosforin ja biologisen hapenkulutuksen analyysiarvoissa. Huleveden laatuparametrien arvoista valtaosa oli suurempia myös peltovaltaisen alueen valumavesiin verrattuna. Tästä poikkeuksen muodostivat sulan kauden aikainen kokonaistyyppi, sulfaatti sekä sähkönjohtavuus molemmilla kaupunkialueilla ja kuiva-aine pientaloalueella. Suurimmat erot löytyivät myös tässä vertailussa lyijypitoisuuksissa. Lisäksi yli 10-kertaisia eroja keskimääräisissä pitoisuuksissa oli myös kiintoaineen, kokonaisfosforin, biologisen hapenkulutuksen ja vanadiinin osalla. Verrattaessa Valtakunnallisen hulevesitutkimuksen (Melanen 1982) ja parikymmentä vuotta myöhemmin Vaasassa (Kannala 2001) sekä Helsingissä (Nurmi 2001) tehtyjen tutkimusten tuloksia huleveden laadun osalta, havaitaan selvä ero huleveden lyijypitoisuudessa, joka on lyijyttömän bensiinin käyttöönoton myötä laskenut huomattavasti. Muiden laatuparametrien osalta huleveden laadussa ei näytä tapahtuneen merkittäviä muutoksia.

Hulevesien aiheuttamat ainehuuhtoumat vaihtelevat eri kaupunkialueiden välillä huomattavasti. Esimerkiksi huleveden kiintoainehuuhtouma ($\text{kg}/\text{km}^2/\text{a}$) moottoritieltä oli yli 500-kertainen (Geiger et al. 1987) ja rakennettavalta alueelta 2500-kertainen (Songozni et al. 1980) väljästi rakennetun asuinalueen huleveden kiintoainehuuhtoumaan verrattuna (Horner et al. 1994 ref. US EPA 1999).

Valtakunnallisessa hulevesitutkimuksessa (Melanen 1982) selvitettiin kauden suomalaisen kaupunkialueen ainehuuhtoumat. Alueiden väliset erot olivat selkeät, suurimmat vuosihuutoumat olivat aineesta riippuen 3 - 24 -kertaisia pienimpiin verrattuina. Pääsääntöisesti huuhtouma oli sitä suurempi, mitä enemmän alueella oli päällystettyjä pintoja. Vaasan keskusta-alueella noin 20 vuotta myöhemmin tehdyn tutkimuksen (Kannala 2001) ainehuuhtoumat olivat yleisesti Valtakunnallisen hulevesitutkimuksen minimi- ja maksimiarvojen välissä. Yleislinjasta poikkesi lyijyhuuhtouma, joka oli Vaasan tutkimuksessa selkeästi aiempaa tutkimusta pienempi. Ruotsalaisissa ja norjalaisissa tutkimuksissa määritetyt kaupunkialueiden hulevesihuutoumat ovat samaa suuruusluokkaa suomalaisten huutoumien kanssa. Melanen (1982) vertasi Valtakunnallisen hulevesitutkimuksen kaupunkialueiden ainehuuhtoumia samanaikaisesti metsä- ja peltovaltaisilla valuma-alueilla suoritetun valumavesitutkimuksen (Maasilta et al. 1980) ainehuuhtoumiin. Metsä- ja peltovaltaisilta alueilta peräisin olevan kiintoaineen, kokonaisfosforin, kemiallisen hapenkulutuksen ja kadmiumin huuhtouma ($\text{kg}/\text{km}^2/\text{a}$) sijoittui kaupunkialueiden pienimmän ja suurimman huutouman väliin. Suurin kokonaistyyppi- ja sulfaattihuutouma syntyi peltoalueella (peltoa 40 %). Kaupunkialueet tuottivat suurimman lyijyhuutouman.

Suomessa kevätvalunta, joka aiheutuu lumen sulamisesta ja sulamiskauden sadannasta, on 40 - 60 % vuosivalunnasta (Hyvärinen 1986). Valtakunnallisen hulevesitutkimuksen kaupunkialueilla sulamisvalunnan osuus ainehuuhtoumasta vaihteli suuresti ollen välillä 5 - 79 %. Siuntionjoen pelto- ja metsävaltaisilla alueilla sulamisvalunnan osuus oli 22 - 59 %.

Huleveden laatu on usein huonoimmillaan sadetapahtuman alussa, kun satanut vesi huuhtoo läpäisemättömille pinnoille kertyneen lian. Tätä ilmiötä kutsutaan alkuhuuhtouma-ilmiöksi (*first flush*). Yhdysvalloissa tutkittiin moottoritiellä muodostuvan huleveden alkuhuuhtouma-ilmiötä (Stenstrom et al. 2001). Valtaosa sadanta-valuntatapahtuman ainehuuhtoumasta muodostui tapahtuman alussa eli alkuhuuhtouma oli selvästi havaittavissa. Ilmiö ei kuitenkaan ole itsensänselvyys: Deletic'n (1999) tutkimuksessa alkuhuuhtouma havaittiin vain noin joka kolmannessa sadetapahtumassa.

1.4 Huleveteen liittyvät ongelmat

Huleveteen liittyviä ongelmia ovat Chocat'n (et al. 2001) mukaan: 1) Huleveden määrään liittyvät ongelmat, joita ovat muun muassa lisääntyneen huleveden ja kasvaneiden virtaamahuippujen ympäristölle ja omaisuudelle aiheuttamat vahingot sekä pienentyneet alivirtaamat 2) Huleveden laatuun liittyvät ongelmat, kuten se että hulevesi on yksi tärkeimmistä hajakuormituksen lähteistä orgaanisen aineksen, raskasmetallien, ravinteiden, saastuneen sedimentin ja patogeenein osalta 3) Maiseman estetiikkaan, ekologiaan ja ympäristön käyttökelpoisuuteen liittyvät ongelmat, joihin kuuluu: tavanomaisen kuivatusjärjestelmän päästöjen vaikutus vastaanottavan vesistön biologiseen tilaan, varsinkin kasvi- ja eläinlajiston runsauteen ja monimuotoisuuteen 4) Jätevesijärjestelmän käyttöön liittyvät ongelmat, esimerkiksi huleveden aiheuttama puhdistustuloksen heikkeneminen jätevedenpuhdistamolla.

Kaupunkirakentaminen vaikuttaa suuresti virtavesien hydrologiaan: ylivirtaamat ja virtaamavaihtelut kasvavat, tulvat lisääntyvät, uomat syvenevät, kasvuston määrä vähenee, uomien penkereet kuluvat ja sortuvat. Lisääntynyt eroosio ja morfologian muuttuminen vaikuttavat elinympäristöihin ja eliöihin. Luonnon kosteikkojen vesikierto muuttuu kaupungistumisen myötä, kun voimakkaasti kasvaneita ja lyhytaikaisia virtaamahuippuja seuraa huomattavasti pienentyneen virtaaman jakso. Kaiken kaikkiaan kaupungistuminen muuttaa valuma-alueen hydrologiaa ja ajan kuluessa purkuvesistöjen veden laatua ja vesieliöstöä (US EPA 1990).

Monissa maissa kaupunkialueiden huleveden on todettu olevan merkittävä vesistöjen pilaaja (muun muassa Akan 1993, US EPA 1998, Lawrence 1999, Swietlik 1999). Hulevesien aiheuttama likaantuminen on jokaisen kaupungin ongelma, koska hulevedet haittaavat jätevesipuhdistamojen toimintaa, aiheuttavat seka- viemäröinnin ylivuotoja sekä likaavat vesistöjä (Niemczynowicz 1994). Esimerkiksi Tukholman järvien sedimentin korkean metallipitoisuuden tärkeimmäksi aiheuttajaksi katsotaan teillä muodostuva hulevesi (Miljöförvaltningen i Stockholm). Monin paikoin piste-kuormituslähteiden (asutus- ja teollisuusjätevedet) merkitys vesistöjen pilaajana on tehostuneen käsittelyn vuoksi vähentynyt. Tällöin huleveden suhteellinen merkitys vesistöjen likaajana on puolestaan kasvanut.

Kaupungistuminen lisää monien kemiallisten komponenttien määriä purkuvesistöissä. Fergusonin (1998) tekemän yhteenvedon mukaan eri komponenttien lisääntyneet pitoisuudet aiheuttavat virtavesissä seuraavanlaisia haittavaikutuksia: Kiintoainepitoisuuden kasvu lisää veden sameutta vähentäen biologista tuotantoa ja luonnon monimuotoisuutta, orgaanisten yhdisteiden lisääntyneen määrän hajoaminen kuluttaa happea, suuret ravinnepitoisuudet haittavat ekosysteemin toimintaa ja johtavat leväkukintoihin, metallipitoisuuksien ylimäärä vähentää vastustus- ja lisääntymiskykyä sekä aiheuttaa käytöshäiriöitä, isot öljykonsentraatiot kuluttavat happea ja lisääntynyt bakteerien määrä aiheuttaa tau-tivaaraa. Useissa tutkimuksissa on todettu yhteys vesistön kunnon ja valuma-alueen läpäisemättömän pinta-alan välillä (muiden muassa Arnold & Gibbons 1996, Schueler 1994, Schueler 1987): mitä kaupungistuneempi valuma-alue sitä huonokuntoisempi purkuvesistö. Schuelerin (1994) mukaan edes tehokkaat hulevedenkäsittelymenetelmät eivät estä virtaveden tilan heikkenemistä kun valuma-alueen pinta-alasta yli 25 % on päällystetty vettä läpäisemättömäksi.

1.5 Kaupungistumisen vaikutukset lumiolosuhteisiin

Kylmässä ilmastossa lumella on suuri merkitys hydrologisessa kierrossa. Kaupungistumisen on todettu lisäävän lumisateen määrää (Landsberg 1970 ref. McPherson 1974) ja lyhentävän lumikauden pituutta (Bengtsson & Westerström

1992, Heino 1976 ref. Heino 1978). Kaupunkialueella lumiolosuhteet vaihtelevat suuresti, joiltakin alueilta lumi poistetaan kokonaan, joillekin alueille sitä kasaataan muualta. Kaupungissa oleva, koskemattomana säilynyt lumi on tiheyden ja albedon osalta hyvin samankaltaista kuin maaseudun lumi. Kaupunkialueen auratuissa lumikasoissa lumen ominaisuudet vaihtelevat suuresti.

Kaupungissa lumen sulaminen alkaa ja päättyy aikaisemmin ja on nopeampaa kuin maaseudulla. Sulannan maksimiarvo ei välttämättä ole kaupunkialueella suurempi kuin maaseutualueella, koska auringon säteily on yleensä voimakainta sulamiskauden lopulla (Bengtsson & Westerström 1992). Kaupungissa lumen sulaminen voidaan jakaa kolmeen vaiheeseen (Oberts 1994a): I. usean kerran talvessa toistuva lumen sulanta päällystetyiltä pinnoilta, II. katujen varsilta auratun lumen sulanta ja III. päällystämättömien alueiden lumen sulaminen, joka yleensä tuottaa suurimman hulevesimäärän. Erittäin suuria määriä hulevetä muodostuu vesisateen aiheuttamissa sulamistapahtumissa. Buttle & Xu (1988) tutkivat Kanadan Ontariossa kaupungistumisen vaikutuksia sulamistapahtumiin. Tutkimuksen yhteenvedossa todettiin, että taaja-asutusalueella sulanta oli nopeampaa kuin maaseutualueella, ja että sulanta- ja valuntahuippu olivat ajallisesti lähempänä toisiaan taaja-asutusalueella kuin maaseutualueella. Lisäksi kevät sulantakauden alussa välittömästi valunnasta laskettu valuntakerroin oli taaja-asutusalueella noin 3-kertaa suurempi kuin maaseudulla, mutta sulantakauden lopulla maaseutualueen valuntakerroin saavutti ja paikoin ylitti taaja-asutusalueen valuntakertoimen.

Talven aikana lumeen kerääntyy lika-aineita ilmalaskeuman mukana ja suoraan, esimerkiksi ajoneuvoista. Suurin osa lumen sulaessa huleveteen päätyvistä lika-aineista on sitoutunut lumen hiukkasiin. Valtakunnallisessa hulevesitutkimuksessa 1977 - 79 (Melanen 1982) keskusta-alueiden lumen sulamisvesien laatu todettiin huonommaksi kuin sulan kauden hulevesien laatu. Kaikilla tutkimuksen kaupunkialueilla kuiva-aine-, typpi- ja kloridipitoisuus sekä sähkönjohtavuus olivat lumen sulamisvedessä korkeampia kuin sulan kauden hulevesissä. Sulamisvalunnan osuus vuotuisesta ainehuuhtoumasta vaihteli eri aineilla välillä 5 - 79 %.

1.6 Kaupungistumisen vaikutukset pohjavesioloihin

Päällystetyt (läpäisemättömät) pinnat vähentävät veden imeytymistä maaperään ja edelleen pohjaveteen. Tällöin pohjaveden pinta yleensä alenee ja pohjavesivirtaus uomiin pienenee (Walesh 1989). Ontariossa Kanadassa alueen kaupungistuminen pienensi pohjavesivaluntaa siten, että ennen rakentamista pohjavesivalunta oli 50 % sadannasta ja rakentamisen jälkeen 32 % (Control of pollution from urban runoff 1983 ref. Melanen 1986). Toisaalta kaikissa tutkimuksissa ei ole havaittu tilastollisesti merkittävää yhteyttä kaupungistumisen ja uomaan tulevan pohjavesivirtaaman pienenemisen välillä (Evett et al. 1994 ref. Schueler 1994). Laajoilla kaupunkialueilla pohjaveden pinnan lasku voi vaikuttaa maaperän vesitalouteen ja kasvillisuuden elinehtoihin (Melanen 1986).

2 Kokeellinen tutkimus

2.1 Tutkimusalueet ja mittausjärjestelyt

RYVE-tutkimuksen osahankkeen "*Kaupunkialueiden hydrologia - valunnan ja ainehuuhtouman muodostuminen rakennetuilla alueilla*" tutkimusalueet valittiin yhteistyössä Espoon kaupungin kanssa. Valuma-alueeltaan selvästi rajattavissa olevien ja rakentamistavaltaan mahdollisimman homogeenisten alueiden, joille valunnan mittaus- ja näytteenottoasema voidaan järkevästi sijoittaa, löytäminen oli

melko vaikea tehtävä. Tutkimusalueiksi valittiin Espoosta Laaksolahden noin 0,30 km²:n pientaloalue, Vallikallion noin 0,13 km²:n kerrostaloalue sekä Saunalahdenrannan noin 0,10 km²:n metsästä kaupunkialueeksi rakentuva alue (kuvat 1 ja 2). Noin viidennes Laaksolahden ja noin puolet Vallikallion pinta-alasta oli päällystetty. Asukastiheys oli Laaksolahdessa 2 600 as/km² ja Vallikalliossa 12 300 as/km². Vallikalliossa hulevedet hallittiin tehokkaalta maanalaisella sadevesiviemäröinnillä. Laaksolahdessa oli putkiviemärien lisäksi avo-ojia keräämässä ja johtamassa hulevesiä. Saunalahdenrannan metsäaluetta rajaavalle tielle asennettiin kesällä 2001 kunnallistekniikka, mukaan lukien hulevesiviemärit. Varsinainen alueen rakentaminen alkoi talvella 2002, ja syksyyn 2002 mennessä uudet tiet kunnallisteknisine rakenteineen oli saatu asfalttipäällystetty lukuun ottamatta valmiiksi. Siuntiossa sijaitsevan Rudbäckin metsäalueen valunta- ja sadantatie-toja käytettiin vertailuaineistona.

Tutkimusalueille perustettiin kesällä 2001 (Laaksolahdessa ja Vallikalliossa kesä-heinäkuussa ja Saunalahdenrannassa elokuussa) automaattiset mittaus- ja näytteenottoasemat, joissa mittaus tapahtui 10 minuutin välein. Kukin asema sisälsi virtaaman, valumaveden sähkönjohtavuuden ja lämpötilan, sademäärän, suhteellisen kosteuden ja ilman lämpötilan mittaamiseen tarvittavat laitteet. Laaksolahdessa oli lisäksi tuulen nopeutta ja kokonaissäteilyä mittaavat anturit.

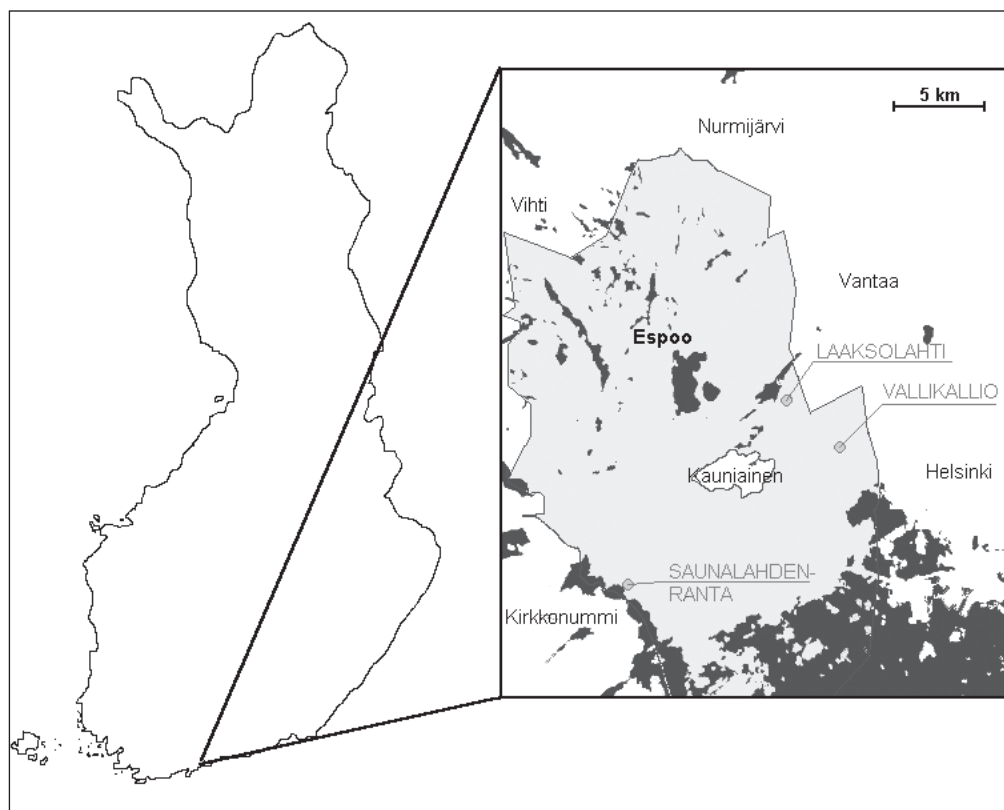
Jokaiselle tutkimusalueelle asennettiin pohjavesiputket tammikuussa 2002. Putkien vedenpintaa seurattiin Espoon kaupungin toimesta noin kerran viikossa.

Kullekin mittaus- ja näytteenottoasemalle sijoitettiin automaattinen näytteenotin, joka otti virtaamaan perustuen näytteitä valumavedestä. Mitä suurempi virtaama oli, sitä useampia näytteitä otettiin. Näytteet analysoitiin Teknillisen korkeakoulun vesitalouden ja vesirakennuksen laboratoriossa. Näytteistä tutkittiin pääasiassa kokonaisravinne- ja kiintoainepitoisuudet sekä kemiallinen hapenkulutus kaliumpermanganaattimenetelmällä. Valumaveden laadun lisäksi tutkittiin myös lumen ainepitoisuuksia.

Talvella 2001 - 2002 Saunalahdenrannassa ja Espoon Rastasmäessä tehtiin lumimittauksia, joiden lisäksi käytettävissä oli Rudbäckin lumitiedot. Ilmatieteenlaitoksen mittausasemien sadantatietoja käytettiin hyväksi määritettäessä tutkimusalueiden, joilla ei ollut lumisadetta mittaavia sademittareita, sademäärät talviaikaan.



Kuva 1. Näkymiä tutkimusalueilta.



Kuva 2. Tutkimusalueiden sijainti.

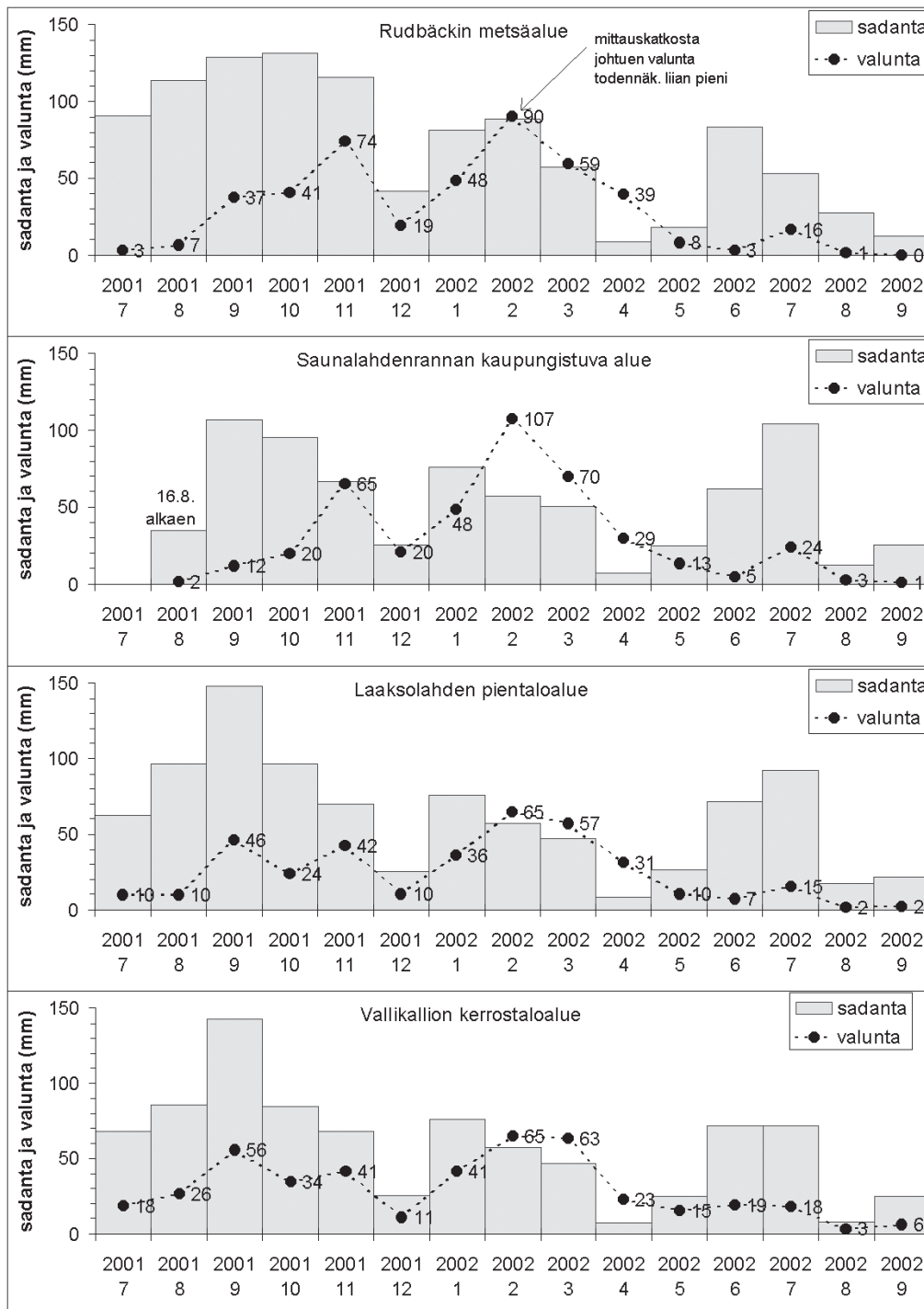
2.2 Sadanta ja valunta

Tutkimusalueilla ei käytetty lumisadetta mittaavia sademittareita, joten talvi-ajan sadantana on käytetty Ilmatieteen laitoksen Helsinki-Vantaan mittausaseman sadantaa. Sadantaa ja valuntaa mitattiin kesästä 2001 syyskuuhun 2002.

Korjattu vuoden mittaisen jakson sadanta oli tutkimusalueilla 568 - 816 mm ja Rudbäckin vertailualueella 719 - 959 mm. Tutkimusalueiden sadannat olivat yleisesti ottaen hieman suuremmat kuin sadannat Ilmatieteen laitoksen mittausasemilla Helsinki-Vantaalla ja Helsinki Kaisaniemessä. Kaiken kaikkiaan tutkimusjakso oli tavanomaista kuivempi, sademäärä oli Ilmatieteen laitoksen Helsinki-Vantaalla noin 84 % pitkän (1961 - 1990) ajan keskiarvosta ja erityisen vähäsateisia olivat huhti-, elo- ja syyskuu 2002. Tavanomaista sateisimpia olivat tammi-, helmi- ja kesäkuu 2002.

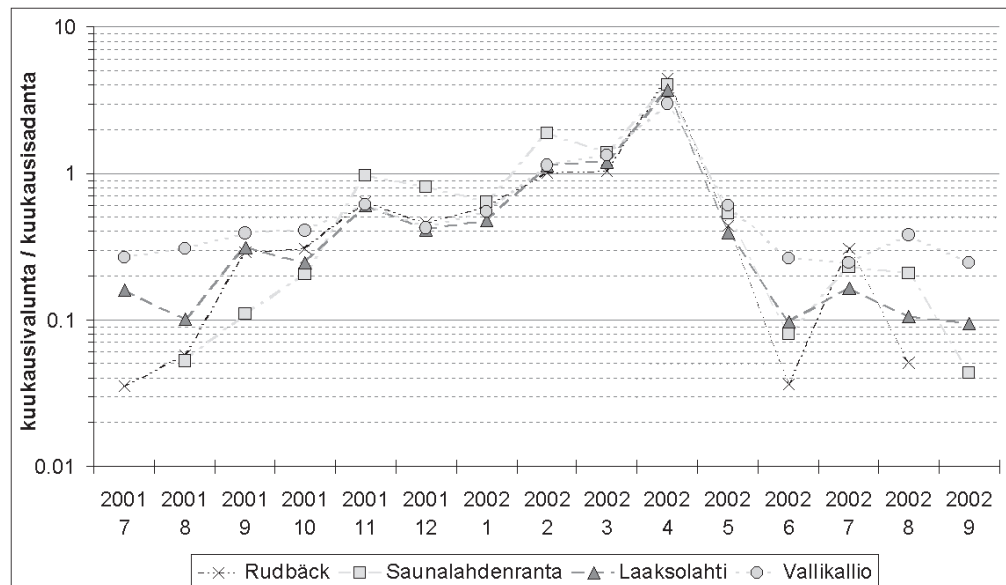
Vuoden mittaisen jakson valunta tutkimusalueilla oli 301 - 437 mm ja Rudbäckin vertailualueella 400 - 442 mm. Mitattu valunta oli vuositasolla 43 - 67 % sadannasta (kokonaisvaluntakerroin 0,43 - 0,67). Kokonaisvaluntakerroin oli suurin Saunalahdenrannassa (0,58 - 0,67), jossa kallioisuus ja suuret korkeuserot lisäävät valuntaa. Vallikallion kokonaisvaluntakerroin (0,54 - 0,60) oli jonkin verran pienempi kuin Saunalahdenrannassa mutta selvästi korkeampi kuin Laaksolahdessa (0,43 - 0,49) ja Rudbäckin vertailualueella (0,45 - 0,56). Vallikalliossa valunta mitattiin sadevesiviemäristössä, jonne maa- ja pohjavesivirtaus ei juuri päässyt, joten Vallikalliossa mitattu kokonaisvaluntakerroin oli todellista pienempi. Vallikallion Laaksolahtea ja Rudbäckkiä suuremman kokonaisvaluntaker-toimen voidaan päätellä johtuneen korkeammasta kaupungistumisasteesta.

Lumen sulamisen johdosta kuukausivalunta oli kullakin alueella suurin helmikuussa 2002, jolloin valuntaa muodostui eniten Saunalahdenrannassa (107 mm) ja vähiten Laaksolahdessa sekä Vallikalliossa (65 mm) (kuva 3). Helmikuun lisäksi valuntaa muodostui runsaasti maaliskuussa sekä syysyllä 2001. Valuntaa oli vähiten elo- ja syyskuussa 2002, jolloin sadanta oli selvästi tavanomaista vähäisempää. Rudbäckin vertailualueella valuntaa ei muodostunut syyskuussa 2002 lainkaan. Myös Saunalahdenrannassa valuntaa muodostui vähiten (1 mm) syyskuussa 2002. Laaksolahdessa ja Vallikalliossa pienimmät kuukausivalunnat (2 ja 3 mm) havaittiin elokuussa 2002. Vuosien 2001 ja 2002 elo- ja syyskuu poikkesivat sekä sadannan että valunnan osalta toisistaan suuresti. Vuoden 2002 elo- ja syyskuun sadesumma oli 15 - 27 % ja valuntasumma 3 - 28 % vuoden 2001 vastaavasta.



Kuva 3. Kuukausisadannat ja -valunnat.

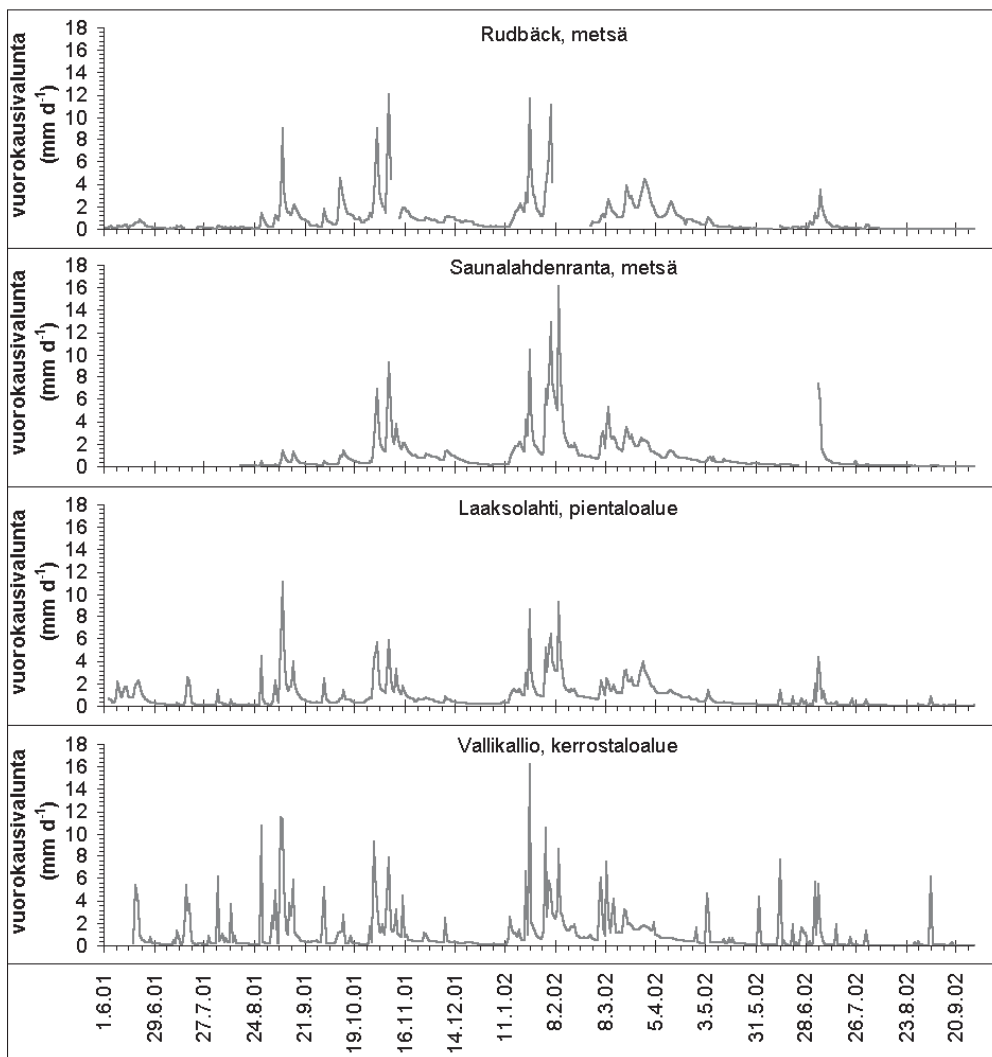
Kunkin alueen kuukauden kokonaisvaluntakerroin (kuukausivalunnan ja kuukausisadannan suhde) kasvoi syksyn ja talven 2001-2002 aikana saavuttaen maksimiarvonsa huhtikuussa 2002 (kuva 4). Kahdessa kuukaudessa kokonaisvaluntakerroin laski edellisesän tasolle. Kuukausitason kokonaisvaluntakertoimen vaihtelu oli sitä vähäisempää mitä rakennetumpi alue oli. Ero rakennettujen ja rakentamattomien alueiden kuukausitason kokonaisvaluntakertoimien välillä oli suurin kesäkuukausina. Suurimman ja pienimmän kertoimen suhde oli Vallikalliossa 12, Laaksolahdessa 39, Saunalahdenrannassa 89 ja Rudbäckissä 125, kun otetaan huomioon että Rudbäckissä valuntaa ei muodostunut syyskuussa 2002 lainkaan.



Kuva 4. Kuukausien kokonaisvaluntakertoimet.

Suurimmat vuorokausivalunnat havaittiin sulamiskaudella ja syksyllä (kuva 5). Suurin mitattu vuorokausivalunta oli Rudbäckissä 12 mm (7.11.2001 ja 25.1.2002), Saunalahdenrannassa 16 mm (10.2.2002), Laaksolahdessa 11 mm (9.9.2001) ja Vallikalliossa 16 mm (25.1.2002). Todennäköisesti Rudbäckin helmikuun ja samalla koko tutkimusjakson suurin vuorokausivalunta jäi mittauskatkon takia havaitsematta. Laaksolahdessa sulamiskauden suurin vuorokausivalunta oli 9 mm.

Saunalahdenrannassa 5.7.2002 sattunutta poikkeuksellisen rankkaa sadetta (kolmen tunnin aikana satoi lähes 60 mm ja tuntivalunta oli enimmillään 2,0 mm) lukuun ottamatta suurimmat tuntivalunnat ja hetkelliset valunnat osuivat metsä- ja kaupunkialueilla eri vuodenaikoihin. Metsäisillä Rudbäckin ja Saunalahdenrannan alueilla suurimmat arvot ajoittuivat sulamiskaudelle, Laaksolahden ja Vallikallion kaupunkialueilla kesä- ja syyssateiden yhteyteen. Suurimmat tuntivalunnat metsäalueilla (Rudbäckissä 0,9 mm ja Saunalahdenrannassa 1,0 mm) olivat pienemmät kuin kaupunkialueilla (Laaksolahdessa 1,4 mm ja Vallikalliossa 3,0 mm). Kaupunkirakentamisen valuntaa lisäävä vaikutus näkyi selvimmin kesällä. Suurimmat kesäajan tuntivalunnat olivat Rudbäckissä 0,2 mm ja Saunalahdenrannassa 0,1 mm (ilman 5.7.2002 rankkasadetta) sekä rakennetuilla alueilla Laaksolahdessa 1,4 mm ja Vallikalliossa 1,9 mm.

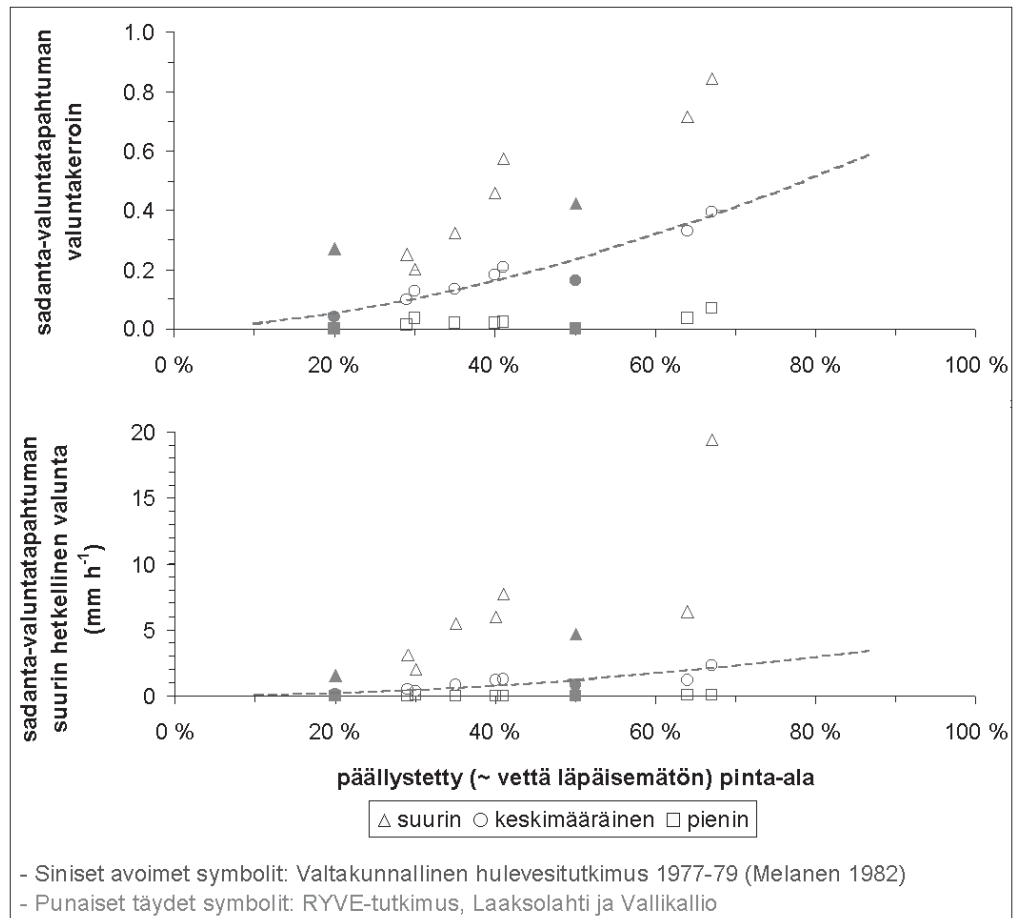


Kuva 5. Vuorokausivalunnat.

Kaupungistumisaste vaikutti sadanta-valuntatapahtumiin. Mitä kaupungistuneempi alue oli kyseessä, sitä enemmän ja sitä nopeammin sade synnytti välittömää valuntaa. Välittömän valunnan osuus mitatusta sulan kauden valunnasta oli Vallikalliossa 70 %, Laaksolahdessa 42 % ja Saunalahdenrannassa 35 %. Sadanta-valuntatapahtuman valuntakerroin (tapahtuman synnyttämän välittömän valunnan ja sadannan suhde) oli suurin kaupungistuneimmalla Vallikallion alueella ja pienin Saunalahdenrannassa. Kertoimen aritmeettinen keskiarvo oli Vallikalliossa 0,16, Laaksolahdessa 0,04 ja Saunalahdenrannassa 0,01. Koska tarkastelussa oli mukana myös pieniä sateita, jotka aiheuttivat vain vähän tai eivät lainkaan valuntaa, saadaan sadannalla painottamalla suuremmat keskimääräiset valuntakertoimet: Vallikallio 0,25, Laaksolahti 0,11 ja Saunalahdenranta 0,08. Sadanta-valuntatapahtuman valuntakerroin vaihteli voimakkaasti kullakin tutkimusalueella. Yleensä valuntakerroin oli sitä suurempi, mitä suurempi oli sadanta-valuntatapahtuman sadanta, mutta toisaalta saman suuruinen sadanta aiheutti hyvin erilaisia valuntakertoimia. Vallikallio poikkesi kahdesta muusta alueesta siten, että pienikin sadanta aikaansai myös suuria valuntakertoimia. Toisin kuin kahdella muulla alueella Saunalahdenrannassa suurikin sadanta saattoi aiheuttaa vain vähän tai ei lainkaan valuntaa ja siten hyvin pienen valuntakertoimen.

Tapahtumiin liittyvän välittömän valunnan maksimiarvojen keskiarvo oli Vallikalliossa 0,79 mm/h, joka oli noin kuusinkertainen Laaksolahden 0,13 mm/h nähden. Saunalahdenrannassa maksimiarvojen keskiarvo oli vain 0,04 mm/h.

Tapahtuman alusta sekä sateen intensiteettihiipusta valunnan maksimiin kulunut aika oli lyhyin rakennetuimmalla alueella Vallikalliossa. Aika, joka kului sateen suurimmasta intensiteetistä valunnan maksimiin oli Vallikalliossa keskimäärin 25 minuuttia, Laaksolahdessa 48 minuuttia ja Saunalahdenrannassa 37 minuuttia.



Kuva 6. Sadanta-valuntatapahtumien valuntakerroimet ja suurimmat hetkelliset valunnat RYVE-tutkimuksessa ja Valtakunnallisessa hulevesitutkimuksessa 1977-79.

Laaksolahden ja Vallikallion sekä aikaisemman laajan suomalaisen hulevesitutkimuksen (Valtakunnallinen hulevesitutkimus 1977 - 79, Melanen 1982) sadanta-valuntatapahtumia on verrattu kuvassa 6. Vallikallion sadanta-valuntatapahtumien keskimääräinen valuntakerroin (aritmeettinen keskiarvo) on aikaisemman tutkimuksen kertoimiin verrattuna jonkin verran alhaisempi. Sitä vastoin Laaksolahden suurin sadanta-valuntatapahtuman valuntakerroin on aikaisempien tulosten valossa verrattain korkea. Molempien tutkimusten tulosten perusteella nähdään selvästi kuinka läpäisemättömän pinta-alan osuuden lisääntyessä kasvaa myös sadanta-valuntatapahtuman valuntakerroin. Samoin käyttäytyy myös sadanta-valuntatapahtumaan liittyvän välittömän valunnan suurin hetkellinen arvo. Sekä valuntakerroin että suurin hetkellinen valunta vaihtelivat molemmissa tutkimuksissa suuresti sadetapahtumasta toiseen.

2.3 Valumaveden laatu

Valumavesien kemiallinen hapenkulutus (COD_{Mn}) sekä kokonaisravinne- ja kiintoainepitoisuudet selvitettiin suuren analyysimäärän (200 - 404 analyysiä/tutkimusalue) ansiosta tarkasti. Lisäksi analysoitiin kemiallista hapenkulutusta dikromaattimenetelmällä (COD_{Cr} , 13 - 16 analyysiä/tutkimusalue) ja fosfaattifosfori-

pitoisuutta (13 - 48 analyysiä/tutkimusalue). Valumaveden sähkönjohtavuus mitattiin automaattisesti 10 minuutin välein ja liuenneiden aineiden pitoisuutta arvioitiin sähkönjohtavuuden avulla.

Ainepitoisuudet vaihtelivat suuresti tutkimusjaksolla kesä 2001 - syyskuu 2002 (taulukko 1). Eniten vaihtelua oli kiintoainepitoisuudessa, jonka suurimman ja pienimmän määritetyn pitoisuuden suhde oli kaikilla alueilla noin 2000. Suurimmat kiintoaine-, kokonaisfosfori- ja kokonaistyyppipitoisuudet mitattiin Saunalahdenrannassa 5.7.2002 sattuneen poikkeuksellisen rankan sateen yhteydessä. Korkein COD_{Mn}-arvo havaittiin Vallikalliossa. Laaksolahdessa, jossa näytteenotto Saunalahdenrannan tapaan tapahtui avo-ojasta, suurin kiintoainepitoisuus oli selvästi suurempi kuin Vallikalliossa. Yleensä ainepitoisuudet olivat rakennetuilla alueilla korkeimmillaan sulan kauden sateiden yhteydessä.

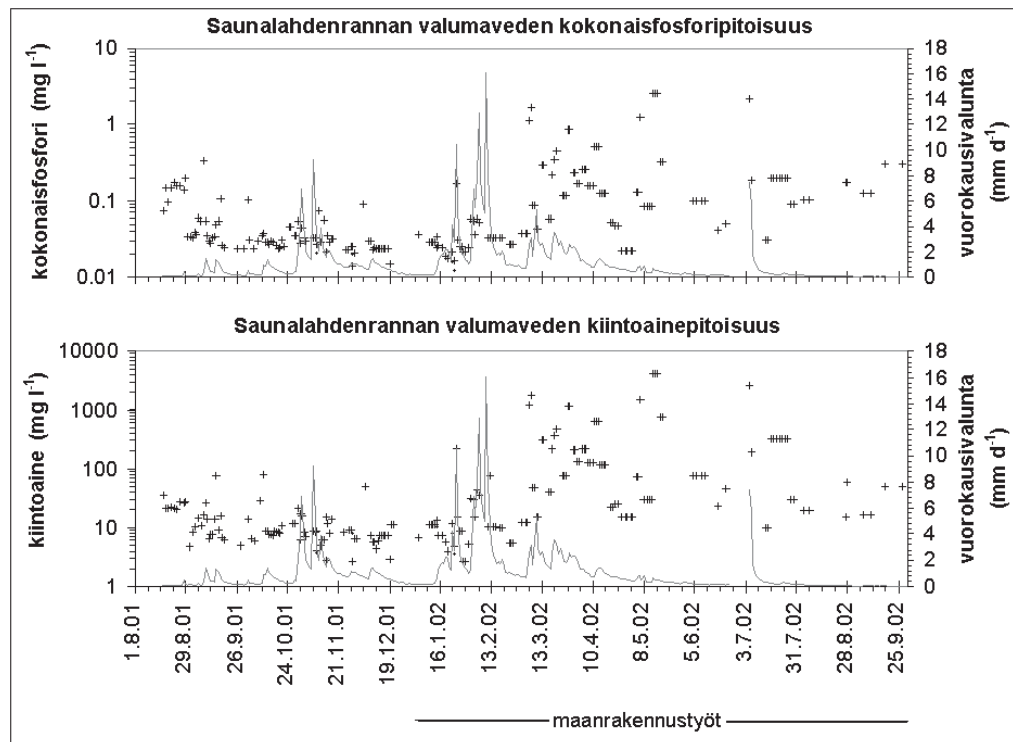
Laaksolahdessa ja Vallikalliossa koko jakson keskimääräiset kemiallisen hapenkulutuksen ja kokonaisfosforin pitoisuudet olivat lähes samansuuruiset (taulukko 1). Kokonaistyyppi- ja kiintoainepitoisuuden keskiarvot olivat Vallikalliossa jonkin verran korkeampia kuin Laaksolahdessa. Saunalahdenrannassa tarkastelujakson keskimääräinen kiintoainepitoisuus oli muihin alueisiin verrattuna noin 4-kertainen, kokonaisfosforipitoisuus noin 1,7-kertainen ja keskimääräinen kemiallinen hapenkulutus 1,5-kertainen. Saunalahdenrannan rakennustöiden (tammikuu - syyskuu 2002) vaikutus näkyi etenkin kohonneina kiintoaine- ja kokonaisfosforipitoisuuksina (kuva 7). Esimerkiksi huhtikuun 2002 keskimääräinen kiintoainepitoisuus valumavedessä oli Saunalahdenrannassa 11-kertainen ja kokonaisfosforipitoisuus 5-kertainen Vallikallioon nähden.

Valumaveden sähkönjohtavuus vaihteli kullakin tutkimusalueella voimakkaasti (taulukko 1). Laaksolahdessa ja Vallikalliossa pienimmät johtavuudet mitattiin suuren ja laimean hulevesimäärän muodostaneiden kesä- ja syyssateiden yhteydessä. Sähkönjohtavuus oli korkein sulamisvesissä, jotka sisälsivät liukkaudentorjuntaan käytettyjä suoloja. Kaupunkialueista poiketen Saunalahdenrannan pienin johtavuus mitattiin sulamisvesistä helmikuussa 2002. Saunalahdenrannassa rakennustyöt kohottivat sähkönjohtavuutta vuoden 2002 aikana.

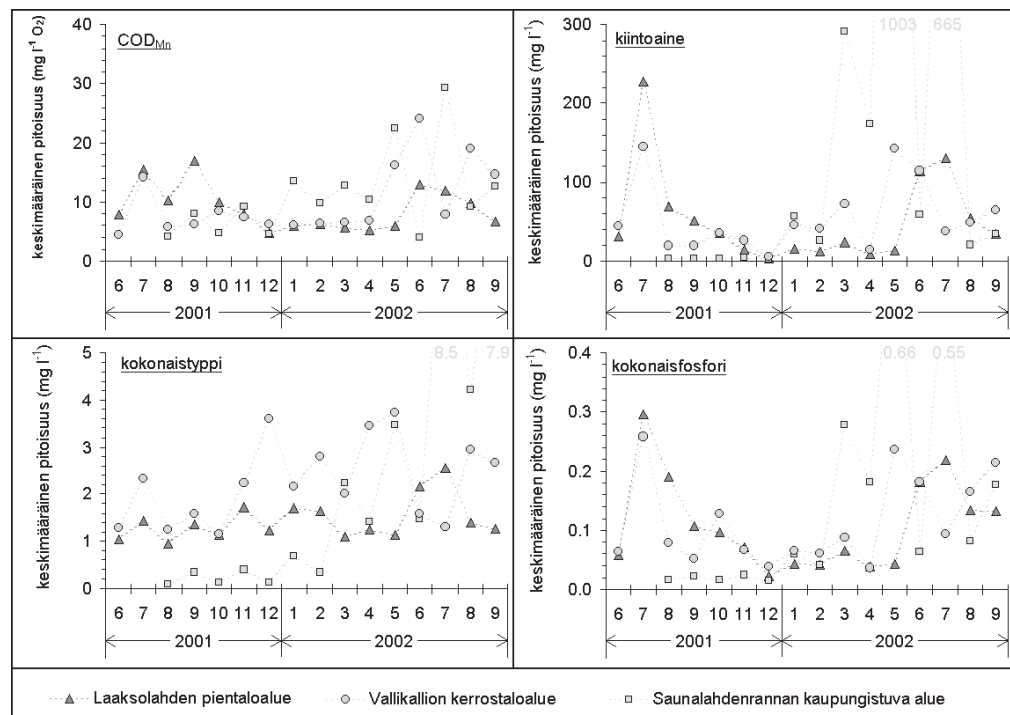
Taulukko 1. Valumavesien laatu.

		Saunalahdenranta, kaupungistuva alue 16.8.01 - 30.9.02	Laaksolahti, pienta- loalue 4.6.01 - 30.9.02	Vallikallio, kerrosta- loalue 18.6.01 - 30.9.02
COD _{Mn} (mg/l O ₂)	vaihteluväli	3,8 - 76	2,0 - 137	1,7 - 161
	keskimäärin	12	8	8
	sitoutuneena kiintoaineeseen	36 %	13 %	27 %
COD _{Cr} (mg/l O ₂)	vaihteluväli	36 - 256	30 - 152	26 - 284
	keskimäärin	50	57	53
kokonaistyyppi (mg/l)	vaihteluväli	0,08 - 12,8	0,34 - 11,7	0,16 - 7,44
	keskimäärin	1,5	1,4	2,1
	sitoutuneena kiintoaineeseen	18 %	13 %	22 %
kokonaisfosfori (mg/l)	vaihteluväli	0,014 - 3,78	0,016 - 1,95	0,014 - 0,77
	keskimäärin	0,14	0,08	0,09
	sitoutuneena kiintoaineeseen	85 %	58 %	61 %
fosfaattifosfori (mg/l)	keskimäärin	0,029	0,016	0,021
kiintoaine (mg/l)	vaihteluväli	2,7 - 4397	1,4 - 2602	0,30 - 702
	keskimäärin	152	35	49
sähkönjohtavuus (mS/m)	vaihteluväli	5 - 93	6,1 - 440	0,26 - 370
	keskimäärin	18	35	18
liennut aine (mg/l)	keskimäärin	116	232	121

Valumaveden liuenneiden aineiden pitoisuus arvioitiin tehtyjen sähkönjohtavuusmittausten ja rakennettujen alueiden halki virtaavalla Mätäjoen kaupunkipurolla määritetyn sähkönjohtavuuden ja liuenneen aineen pitoisuuden suhdetta kuvaavan kertoimen 6,6 (Ruth 1998) avulla. Mätäjoen keskimääräinen liuenneen aineen pitoisuus oli 355 mg/l.

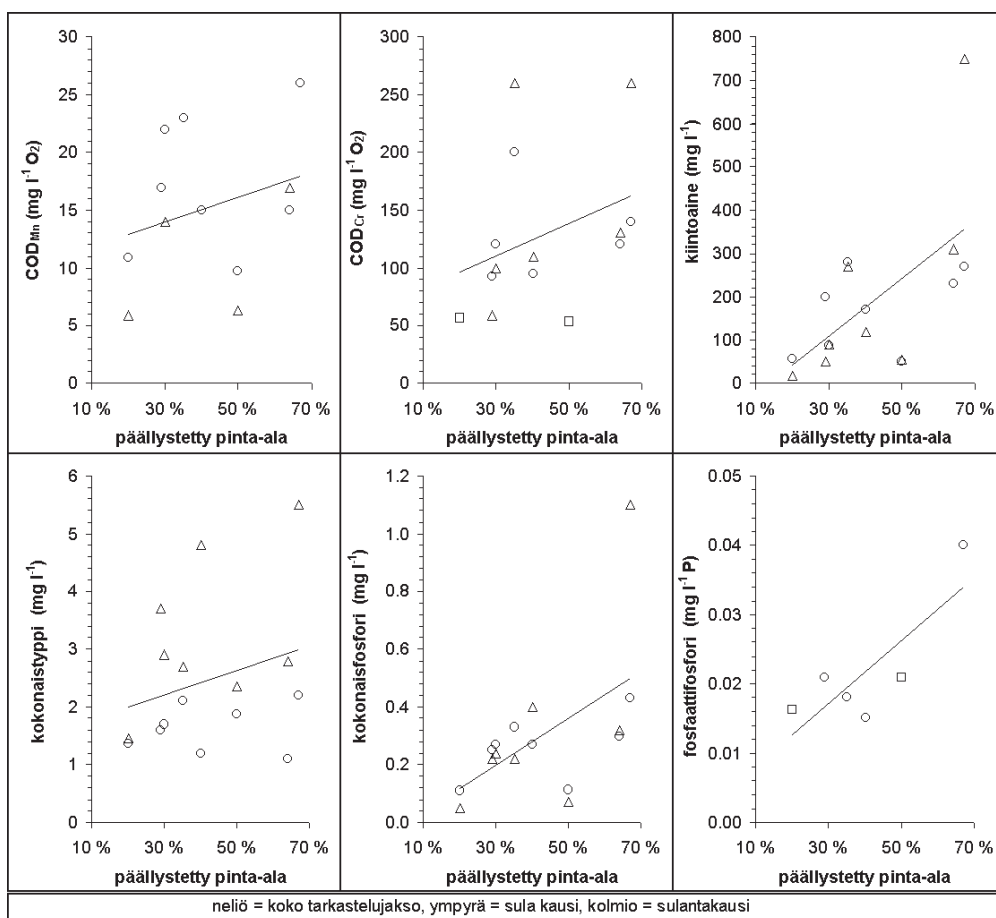


Kuva 7. Saunalahdenrannan valumaveden kokonaisfosfori- ja kiintoainepitoisuus.



Kuva 8. Valumavesien keskimääräiset ainepitoisuudet kuukausittain.

Valtakunnallisessa hulevesitutkimuksessa 1977 - 79 (Melanen 1982) analysoitiin hulevedestä sade- ja sulantatapahtumien yhteydessä otettuja kokoomanäytteitä, joten tutkimuksen suurimmat ja pienimmät pitoisuudet ovat RYVE-tutkimuksesta poiketen tapahtumien kokoomanäytteiden pitoisuuksia. RYVE-tutkimuksen rakennetuilla tutkimusalueilla, Laaksolahdessa ja Vallikalliossa, valumavesien keskimääräinen kemiallinen hapenkulutus oli noin puolet vuosien 1977 - 79 tutkimuksen hapenkulutuksesta (kuva 9). Vallikalliossa keskimääräiset kiintoaine- ja kokonaisfosforipitoisuudet olivat vain noin 20 % 1970-luvun tutkimuksen mukaisista pitoisuuksista. Tarkastelun kohteena olevien aineiden osalta voidaan RYVE-tutkimuksen ja Valtakunnallisen hulevesitutkimuksen 1977 - 79 perusteella päätellä, että päällystetyn pinta-alan osuuden kasvu kohottaa huleveden keskimääräisiä ainepitoisuuksia, varsinkin kiintoaineen ja kokonaisfosforin osalta. Vähiten päällystetyn pinnan määrä vaikuttaa kokonaistypen ja kemiallisen hapenkulutuksen keskimääräisiin pitoisuuksiin.



Kuva 9. Päällystetyn pinnan ja rakennetun alueen valumaveden keskimääräisten ainepitoisuuksien välinen yhteys (Melanen 1982 ja RYVE-tutkimus).

Paljon päällystettyä pintaa sisältävillä ja tehokkaasti rakennetuilla alueilla sulantakauden valumavedessä on sulan kauden veteen verrattuna suuremmat ainepitoisuudet. Kokonaistypen osalta sulantakauden pitoisuus on sulan kauden pitoisuutta suurempi myös väljästi rakennetuilla alueilla. Sen sijaan kemiallisen hapenkulutuksen, kokonaisfosforin ja kiintoaineen osalta väljästi rakennetun alueen sulamisveden ainepitoisuudet ovat monasti pienempiä kuin sulan kauden vesissä.

Valtakunnallisessa hulevesitutkimuksessa 1977 - 79 (Melanen 1982) korkein havaittu sähkönjohtavuus oli 520 mS/m, joka on jonkin verran korkeampi kuin RYVE-tutkimuksen suurin johtavuus. Sulamiskauden keskimääräinen sähkön-

johtavuus oli RYVE-tutkimuksen kaupunkialueilla jotakuinkin yhtä suuri kuin 20 vuotta aiemmassa tutkimuksessa keskimäärin. Kaupunkialueiden sulamiskauden valumaveden keskimääräinen sähkönjohtavuus oli korkeampi kuin sulan kauden aikana. Päälystettyjen pintojen määrän ja valumaveden sähkönjohtavuuden välillä ei havaittu riippuvuutta.

Kemiallisen hapenkulutuksen (COD_{Mn}) keskimääräinen pitoisuus oli RYVE-tutkimuksen valumavesissä korkeampi kuin Mellunkylänpurossa (Ketola 1998) ja likimain yhtä suuri kuin Mätäjoessa (Ruth 1998). RYVE-tutkimuksen valumavesien ja edellä mainittujen purovesien keskimääräiset kokonaistyyppipitoisuudet olivat samaa tasoa ja valumavesien keskimääräinen kokonaisfosforipitoisuus oli 2 - 4 -kertainen puroveteen verrattuna. Kiintoainepitoisuus oli Laaksoalahdes- ja Vallikalliossa 4 - 5 -kertainen sekä Saunalahdenrannan rakennettavalla alueella 16-kertainen puroveteen verrattuna. Fosfaattifosforin keskimääräinen pitoisuus oli purovedessä korkeampi kuin tutkimusalueiden valumavesissä. Laaksoalahden valumaveden keskimääräinen sähkönjohtavuus oli hyvin lähellä Geologian tutkimuskeskuksen purovesikartoituksen (Geologian tutkimuskeskus 1996) neljän Uudenmaan taajama-alueilla sijaitsevan puron keskimääräistä sähkönjohtavuutta 33 mS/m. Toisaalta kaupunkipurojen keskimääräiseksi sähkönjohtavuudeksi on mitattu myös jonkin verran suurempia arvoja: Mätäjoessa 56 mS/m (Ruth 1998) ja Mellunkylänpurossa 66 mS/m (Ketola 1998).

Kemiallisen hapenkulutuksen osalta rakennettujen alueiden valumavedet ja Suomen jokivedet (Suomen ympäristökeskus 2001) ovat keskimäärin hyvin samankaltaisia. Kokonaisfosforin ja -typen keskimääräiset pitoisuudet olivat RYVE-tutkimuksen valumavesissä selvästi suurempia kuin Suomen joissa keskimäärin ja jotakuinkin yhtä suuria kuin Uudenmaan joissa. Peltojen valumavesien keskimääräiset ravinne- ja kiintoainepitoisuudet ovat monasti korkeampia, jopa yli 10-kertaisia, rakennettujen alueiden valumavesiin nähden. Käsittelemättömän jäteveden keskimääräiset kokonaisravinnepitoisuudet (Suomen ympäristökeskus 2002) olivat 20 - 100 -kertaiset ja käsitellyn jäteveden 4 - 17 -kertaiset rakennettujen alueiden valumavesien keskimääräisiin pitoisuuksiin verrattuna.

2.4 Valumaveden ainehuuhtoumat

Tutkimusalueiden ainehuuhtoumat vaihtelivat voimakkaasti tutkimusjaksolla kesä 2001 - syyskuu 2002. Rakennetuilla alueilla kuukausihuutoumat olivat suuria sekä sulamiskaudella, varsinkin kokonaistypen osalta, että sateisina sulan kauden kuukausina. Pienimmät kuukausihuutoumat muodostuivat joulukuussa 2001 sekä vähäsateisena aikana, vuoden 2002 elo- ja syyskuussa.

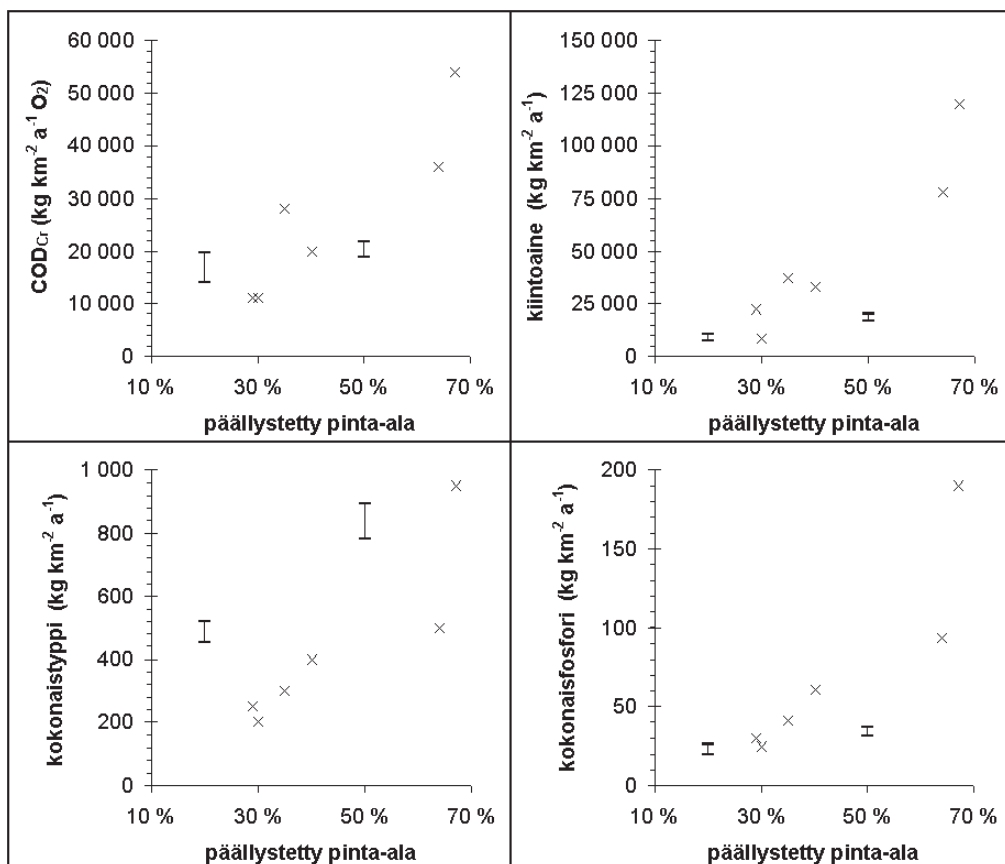
Vuosihuutoumat olivat kemiallisen hapenkulutuksen, kokonaisfosforin sekä kiintoaineen osalta selvästi suurimmat Saunalahdenrannassa (taulukko 2). Saunalahdenrannassa tehtiin vuonna 2002 maarakennustöitä, joiden havaittiin selvästi kohottaneen valumaveden ainepitoisuuksia ja -huuhtoumia. Saunalahdenrannassa kiintoaineen vuosihuutouma oli Vallikallioon nähden kolmin- ja Laakso- lahteen yli kuusinkertainen. Typeä huuhtoutui selvästi eniten Vallikalliossa.

Taulukko 2. Kemiallisen hapenkulutuksen, kokonaistypen, kokonaisfosforin ja kiintoaineen keskimääräiset vuosihuuhtoumat (kg/km²/a).

	Saunalahdenranta, kaupunkistuva alue	Laaksolahti, pientaloalue	Vallikallio, kerrostaloalue
COD _{Mn} (kg/km ² /a O ₂)	4 800	2 700	3 100
COD _{Cr} (kg/km ² /a O ₂)	25 000	18 000	21 000
kokonaistyyppi (kg/km ² /a)	570	500	850
kokonaisfosfori (kg/km ² /a)	57	24	34
fosfaattifosfori (kg/km ² /a P)	10	5	8
kiintoaine (kg/km ² /a)	60 000	10 000	21 000
liuennut aine (kg/km ² /a)	40 000	81 000	50 000

Vallikalliossa ja Laaksolahdessa COD_{Cr}-huuhtoumat olivat samaa luokkaa Valtakunnallisen hulevesitutkimuksessa 1977 - 79 (Melanen 1982) esitettyjen huuhtoumien kanssa (kuva 10). Kokonaistyyppihuuhdous oli puolestaan RYVE-tutkimuksen kaupunkialueilla selvästi suurempi kuin 1970-luvun tutkimuksessa. Kokonaisfosfori- ja kiintoainehuuhtoumat olivat Vallikalliossa verrattain alhaisia. Molempien tutkimusten perusteella ainehuuhdous on sitä suurempi mitä enemmän alueella on päällystettyä pintaa.

Vaasan keskusta-alueella (Kannala 2001) muodostunut huleveden kiintoainehuuhtouma oli Laaksolahden huuhtoumaan nähden noin viisinkertainen ja Vallikallioon nähden noin kaksinkertainen. Myös kokonaisfosfori- ja COD_{Mn}-huuhtoumat olivat Vaasassa suurempia kuin RYVE-tutkimuksen kaupunkialueilla. Kokonaistypen osalta huuhtouma oli Vaasassa samaa suuruusluokkaa Laaksolahden kanssa mutta selvästi alhaisempi kuin Vallikalliossa.



Kuva 10. Päällystetyn pinnan ja ainehuuhtoumien välinen yhteys (Melanen 1982 ja RYVE-tutkimus).

Mätäjoen valuma-alueen (Ruth 1998) keskimääräistä vähäsateisemman tutkimusvuoden kiintoainehuuhtouma oli noin 1/4 Laaksolahden ja 1/8 Vallikallion huuhtoumasta. Kokonaistypen ja -fosforin vuosihuhtoumat olivat noin puolet Laaksolahden ja kolmannes Vallikallion huuhtoumasta. Peltoviljelystä peräisin olevat ravinnehuuhtoumat (Silvo et al. 2001) olivat neljässä eteläsuomalaisessa joessa yleensä hieman suurempia ja pienillä peltovaltaisilla valuma-alueilla 2 - 8 -kertaisia RYVE-tutkimuksen huuhtoumiin verrattuna. Suomen ympäristökeskuksen kokoamiin tietoihin (Lapinlampi & Raassina 2002) perustuvat yhdyskuntien jätevedenpuhdistamoilta lähtevät kokonaisravinnemäärät (kg/km²/a) olivat fosforin osalta 4 - 12 -kertaisia ja typen osalta 11 - 31 -kertaisia RYVE-tutkimuksen asukasta kohden laskettuihin huuhtoumiin nähden.

Märkälasseuman osuudeksi Vallikallion valumaveden typpihuhtoumasta arvioitiin noin 55 % ja fosforihuhtoumasta noin 40 %. Valtakunnallisessa hulevesitutkimuksessa 1977 - 79 (Melanen 1982) laskeuman osuudeksi läpäisemättömiltä pinnoilta muodostuvan huleveden huuhtoumasta arvioitiin kokonaistypen osalta 50 - 67 % ja kokonaisfosforin osalta 25 %.

2.5 Muut tulokset

Lumen ainepitoisuuksia analysoitiin vastasataneesta (6 näytettä), vanhasta lähes koskemattomana säilyneestä (11 näytettä) ja auratusta tai kasoille ajetusta lumesta (13 näytettä). Kadulta ja pysäköintialueilta auratusta lumesta mitattiin lähes koskemattomana säilyneeseen lumeen verrattuna yli 100-kertaisia kiintoaine- ja kokonaisfosforipitoisuuksia. Sähkönjohtavuuden, kemiallisen hapenkulutuksen ja kokonaistypen osalta erot eivät olleet yhtä suuret, mutta kaikkien parametrien osalta kasattu lumi oli keskimäärin koskemattomana säilynyttä lunta likaisempaa. Vanhan, mutta lähes koskemattomana säilyneen lumen keskimääräiset ainepitoisuudet olivat sitä suuremmat mitä rakennetummasta alueesta oli kyse (taulukko 3).

Taulukko 3. Vanhan, lähes koskemattomana säilyneen lumen keskimääräiset ainepitoisuudet.

	n (kpl)	COD _{Mn} (mg/l O ₂)	tot-N (mg/l)	tot-P (mg/l)	PO ₄ -P (mg/l P)	SS (mg/l)
Saunalahdenranta	4	3,2	0,7	0,03	0,02	17
Laaksolahti	3	6,2	1,2	0,06	0,02	56
Vallikallio	3	7,3	1,5	0,21	0,03	76

Vallikallion maanalaisessa sadevesiviemäriässä virtaava vesi on talvella lämpimämpää ja kesällä kylmempää kuin kahden muun alueen avo-ojien vesi. Kylmät sulamisvedet aiheuttavat talvisin Vallikallion valumaveden lämpötilaan suuria vaihteluita. Valumaveden keskimääräinen lämpötila oli Saunalahdenrannassa 8,4 °C, Laaksolahdessa 8,6 °C ja Vallikalliossa 10,7 °C.

Tammikuussa 2002 asennettujen pohjavesiputkien vedenpinnan korkeus saavutti huippunsa Saunalahdenrannassa 2.4.2002, Laaksolahdessa ja Vallikalliossa 11.2.2002. Kesän ja syksyn aikana vedenpinta laski jokaisella alueella, ja kaksi putkea kuivui kokonaan. Vedenpinta lähti nousuun vasta lokakuussa. Eniten (3,5 m) vedenpinta vaihteli Saunalahdenrannan pohjavesiputkessa, Vallikalliossa vaihtelu oli noin 1 m.

2.6 Yhteenvedo ja johtopäätöksiä suomalaisten kaupunkialueiden hydrologiasta

Valunta

- Kaupunkirakentaminen lisää kokonaisvaluntaa.
- Kokonaisvaluntaa enemmän lisääntyy pintavalunta, jonka kasvu on voimakkainta kesällä ja vähäsateisena aikana. Päälystetyt pinnat ja tehokas sadevesiviemärointi lisäävät pintavaluntaa.
- Keskimäärin valunta on voimakkainta rakentamattomilla alueilla sulantakaudella ja rakennetuilla alueilla sulantakauden lisäksi myös syksyllä, kuitenkin niin että valunta on sulantakaudella yleensä voimakkaampaa kuin syksyllä. Suurimman ja pienimmän kuukausivalunnan ero on rakentamattomilla alueilla suurempi kuin tiiviisti rakennetuilla alueilla.
- Lyhyellä aikavälillä valunnassa tapahtuvat muutokset ovat sitä nopeampia mitä tehokkaammin alue on rakennettu.
- Rakentamattomilla ja väljästi rakennetuilla alueilla suurimmat vuorokausivalunnat esiintyvät sulamiskaudella ja syksyllä. Tiiviisti rakennetuilla alueilla vuorokausivalunnat voivat kesäsateiden yhteydessä olla yhtä suuria kuin syksyllä ja sulamiskaudella.
- Suurimmat hetkelliset valunnat ja tuntivalunnat esiintyvät rakentamattomilla alueilla sulantakaudella ja kaupunkialueilla kesä- ja syyssateiden yhteydessä.
- Tiiviisti rakennetulla alueella hetkellisen valunnan ja tuntivalunnan maksimi-arvot ovat kautta vuoden ja varsinkin kesällä suurempia kuin rakentamattomilla alueilla.

Sadanta-valuntatapahtuman

- Sadanta-valuntatapahtuman valuntakerroin (tapahtuman välittömän valunnan ja sadannan suhde) on sitä suurempi, mitä isompi osa alueen pinta-alasta on päälystetty.
- Keskimäärin sadanta-valuntatapahtuman valuntakerroin on noin puolet päälystettyjen, läpäisemättömien pintojen osuudesta. Läpäisemättömän pinta-alan osuuden ollessa vähäinen suhde on hieman alhaisempi ja suurilla hiekan korkeampi.
- Valuntakerroin vaihtelee voimakkaasti tapahtumasta toiseen. Samanlainen sade voi aikaansaada hyvin erilaiset valuntakertoimet.
- Keskimäärin sadanta-valuntatapahtuman valuntakerroin on sitä suurempi, mitä suurempi on tapahtuman sadanta. Paljon päälystettyä pintaa sisältävällä alueella pieneenkin sateeseen liittyvä valuntakerroin voi olla suuri.
- Mitä tiiviimmin alue on rakennettu, sitä suurempi on sateeseen liittyvä valuntahuippu ja sitä nopeammin huippu saavutetaan.

Valumaveden kemiallinen hapenkulutus, kokonaistyyppi-, kokonaisfosfori- ja kiintoainepitoisuudet

- Valumaveden kemiallinen hapenkulutus, kokonaistyyppi-, kokonaisfosfori- ja kiintoainepitoisuudet vaihtelevat kaupunkialueella voimakkaasti. Näistä selvästi eniten vaihtelee kiintoainepitoisuus ja yleensä vähiten kokonaistyyppipitoisuus. Suurin kiintoainepitoisuus voi olla yli 1000-kertainen pienimpään pitoisuuteen nähden, kokonaistyyppillä suhdeluku on tavallisesti alle 100.
- Yleensä pitoisuus on sitä korkeampi mitä suurempi on virtaama.
- Keskimääräiset ainepitoisuudet ovat sitä korkeampia mitä suurempi osa alueesta on päälystetty. Selvimmin tämä näkyy kiintoaine- ja kokonaisfosforipitoisuuksissa, sen sijaan kemialliseen hapenkulutukseen ja kokonais-

typpipitoisuuteen päällystetyn pinta-alan määrällä ei ole yhtä selvää vaikutusta.

- Suurimmat ainepitoisuudet havaitaan rakennetuilla alueilla sulan kauden sateiden yhteydessä.
- Kaupunkialueen rakentamisen aikana valumaveden ainepitoisuudet voivat olla hyvin korkeita, jopa moninkertaisia valmiiksi rakennettuun kaupunki-alueeseen nähden.
- Rakennetuilla alueilla, joilla päällystettyä pintaa on vähintään noin 40 %, ainepitoisuudet ovat yleensä korkeammat sulantakauden valumavedessä kuin sulan kauden valumavedessä. Kokonaistypen osalta sulantakauden pitoisuus on sulan kauden pitoisuutta suurempi myös väljästi rakennetuilla alueilla.
- Rakennetuilla alueilla, joilla päällystettyä pintaa on enintään noin 40 %, kemiallisen hapenkulutuksen, kokonaisfosforin ja kiintoaineen osalta väljästi rakennetun alueen sulamisveden ainepitoisuudet ovat monasti pienempiä kuin sulan kauden vesissä.
- Rakennetun alueen valumaveden fosforista yli puolet on sitoutuneena kiintoaineeseen, tpeestä ja kemiallisesta hapenkulutuksesta vain noin 10 - 30 %.
- Rakennettujen alueiden keskimääräinen valumaveden kemiallinen hapenkulutus on jotakuinkin yhtä suuri tai suurempi kuin kaupunkipuroissa. Rakennettujen alueiden valumavesien keskimääräinen kokonaistyyppipitoisuus on sulana kautena jotakuinkin yhtä suuri ja sulantakaudella yleensä suurempi, jopa yli kaksinkertainen, kaupunkipurojen keskimääräiseen pitoisuuteen nähden. Kiintoainetta ja kokonaisfosforia rakennettujen alueiden valumavedessä on enemmän kuin kaupunkipuroissa, kiintoaineen keskimääräinen pitoisuus on monasti jopa yli kymmenkertainen.
- Rakennettujen alueiden keskimääräinen valumaveden kemiallinen hapenkulutus on jotakuinkin yhtä suuri tai suurempi kuin Suomen jokivesissä keskimäärin. Valumavesien keskimääräiset kokonaisravinnepitoisuudet, varsinkin fosforin osalta, ovat yleensä selvästi korkeammat kuin jokivesissä keskimäärin. Maanviljelysseuduilla virtaavien jokien keskimääräiset kokonaistyyppipitoisuudet ovat samaa suuruusluokkaa rakennettujen alueiden valumavesien pitoisuuksien kanssa.
- Keskimääräiset kiintoaine- ja ravinnepitoisuudet ovat peltojen valumavesissä tavallisesti korkeampia kuin rakennettujen alueiden valumavesissä.
- Keskimääräinen kokonaistyyppipitoisuus on puhdistetussa jätevedessä noin 10-kertainen sulan kauden huleveteen nähden. Kokonaisfosforin osalta huleveden pitoisuus on lähestulkoon yhtä suuri kuin puhdistetussa jätevedessä.

Valumaveden sähkönjohtavuus ja lämpötila

- Valumaveden sähkönjohtavuudet ovat rakennetuilla alueilla korkeampia sulamisvesissä kuin kesällä ja syksyllä.
- Rakennetuilla alueilla sähkönjohtavuuden vaihtelut ovat suuria, korkeimmat johtavuudet voivat olla monisatakertaisia alhaisimpiin nähden.
- Päällystettyjen pintojen pinta-ala ei määrää keskimääräistä sähkönjohtavuutta.
- Maanalaisissa hulevesiviemäreissä veden keskimääräinen lämpötila on talvisin korkeampi ja kesäisin alhaisempi kuin maanpäällisissä. Toisaalta tehokkaasti sadevesiviemäröidyillä ja paljon päällystettyä pintaa omaavilla alueilla veden lämpötilavaihtelut ovat suuria ja nopeita: talvisin sulanta aiheuttaa kylmenemistä ja kesällä lämpimät asfalttipinnat lämpenemistä.

Valumaveden kemiallisen hapenkulutuksen, kokonaistypen, kokonaisfosforin ja kiintoaineen huuhtoumat

- Kemiallisen hapenkulutuksen, kokonaistypen, kokonaisfosforin ja kiintoaineen huuhtoumat vaihtelevat kaupunkialueilla suuresti. Suurimmat kuukausihuutoumat muodostuvat sulantakaudella, varsinkin kokonaistypen osalta, sekä sulan kauden sateisina kuukausina.
- Ainehuuhtouma on sitä suurempi mitä enemmän alueella on päällystettyä pintaa.
- Rakentamistoiminta lisää ainehuuhtoumia. Varsinkin kiintoaineen ja fosforin osalta, joiden huuhtoumat voivat maanrakennustöiden aikana olla moninkertaisia rakennettuun alueeseen nähden.
- Peltoalueiden valumavesien ravinnehuuhtoumat, varsinkin typen osalta, ovat tavallisesti suurempia kuin rakennettujen alueiden valumavesien huuhtoumat.
- Asukasta kohden laskettu ravinnehuuhtouma on puhdistetussa jätevedessä jopa monikymmenkertainen rakennettujen alueiden valumaveden ravinnehuuhtoumaan nähden.

Rakennetun ympäristön aiheuttama vesistökuormitus.....

Johanna Peltola-Thies
johanna.peltola@uba.de
Umweltbundesamt

I Johdanto

Rakennetun ympäristön aiheuttama kuormitus kulkeutuu vesistöihin pääosin hulevesien mukana. Hulevesillä tarkoitetaan tässä arviossa taajamien ja muun rakennetun ympäristön pintavaluntavettä. Rakennetun ympäristön aiheuttamia hydrologisia muutoksia ja kuormituksen laatua ovat tarkastelleet esimerkiksi Kotola ja Nurminen (2003a) sekä Novotny ja Olem (1993).

Tämän arvion tarkoituksena on laajentaa käsitystä siitä, mikä on taajamien ja muun rakennetun ympäristön aiheuttaman hulevesikuormituksen merkitys Suomessa pintavesien tilan heikentäjänä rehevöitymisen kannalta. Osahanke arvioi rakennetusta ympäristöstä peräisin olevaa typen, fosforin ja kiintoaineen kuormitusta vesistöihin. Lisäksi kemiallisen ja biologisen hapenkulutuksen kuormitus vesistöihin on laskettu.

Hankkeen tarkoitus oli samalla tuottaa tietoa vesipuitedirektiivin (60/2000/EC) Artiklan 5 mukaiseen paineiden tunnistukseen, jossa vesienhoitoalueiden merkittävät kuormittavat tekijät rakennetun ympäristön hulevedet mukaan lukien on tunnistettava vesiensuojelutoimenpiteiden suunnittelua varten.

Suomessa taajamavaluma-alueet sisältävät todennäköisesti poikkeuksetta myös mm. metsä- ja/tai maatalousalueita. Siten tämän arvion kaltaisten laajamittakaavaisten kuormitusarvioiden rinnalla tulisi hulevesikuormituksen merkittävyyttä vesien tilalle selvittäessä käyttää taajamavaluma-alue- sekä taajamavesistötkimuksia. Hyvä esimerkki sellaisesta on RYVE –osahankkeen raportti ”Kau-punkirakentamisen vaikutus pieniin valuma-alueisiin ja vesistöihin Suomessa” (Kuusisto 2002).

2 Arviointitapa

2.1 Yleistä

Taajamien tai koko rakennetun ympäristön aiheuttamaa vesistöihin kohdistuvaa kuormitusta voi arvioida esimerkiksi seuraavasti:

- Keräämällä tietoa eri taajamamaankäyttötapojen varaamista pinta-aloista ja kertomalla ne kullekin maankäyttötavalle mitatuilla ominaiskuormitusarvoilla. Ongelmana on, että vain osalle rakennetun ympäristön maankäyttötavoista löytyy mittauksista johdetut ominaiskuormitusarvot. Lisäksi maankäyttötapojen rekisteröintitapa voi tuottaa ongelmia arvioon.
- Arvioimalla keskimääräisen taajamavaluma-alueen ominaiskuormitusarvon useiden taajamavaluma-alueiden maankäyttötietojen (esim. Kuusisto 2002) tai taajamavesistöjen huuhtoumamittausten perusteella, vähentämällä ar-

vosta maatalouden ja metsätalouden kuormituksen osuuden valuma-alueella ja kertomalla tulos koko maan taajamien pinta-alalla. Ongelmana on, että vain osalle rakennetun ympäristön maankäyttötavoista löytyy mittauksista johdetut ominaiskuormitusarvot eikä toisaalta taajamavesistöjen vuosihuhtoumista ole riittävästi mittauksia.

- Riittävän pienillä vesistöalueilla voi yrittää arvioida hulevesikuormitusta massataseen avulla vertaamalla mittaamalla arvioitua kokonaishuhtoumaa laskennalliseen arvioon kuormituksesta tunnetuista lähteistä (työläin ja kaltein tapa).
- Arvioimalla koko peitetyn pinnan tai suoraan erillisviemäriverkkoon yhdistetyn peitetyn pinnan osuuden valuma-alueen pinta-alasta. Peitetyn pinnan määrä korreloi alueen pintavalunnan ja ominaiskuormituksen kanssa (esim. Kotola ja Nurminen 2003b, Schueler 1994, Melanen 1982). Katujen tiheys korreloi myös peitetyn pinnan määrän kanssa (esim. Novotny ja Olem 1993).
- Liikenteen aiheuttamaa hulevesikuormaa voi lisäksi arvioida liikennemäärän, liikenteestä ympäristöön pääseville aineille johdettavien emissiomallien ja kulkeutumismallien avulla (Blok 2002).

Tässä työssä arvioitiin vuotuista kuormitusmäärää kertomalla homogeenisten rakennetun ympäristön maankäyttötyyppien saatavilla olevat suomalaiset ominaiskuormitusarvot sillä alalla, jonka ominaiskuormitusarvoja vastaavat maankäyttötyytit varaavat päävesistöalueittain.

2.2 Ominaiskuormitusmäärä

RYVE –projektiin kuuluvassa Kotolan ja Nurmisen (2003a) kirjallisuusselvityksessä on koottu yhteen suomalaiset ja osa ulkomaisista hulevesitutkimuksista, jotka ovat mitanneet eri taajamamaankäyttötyyppien aiheuttamaa hulevesikuormitusta. Kattavimmin tutkimustuloksia hulevesien ominaiskuormituksesta löytyy rehevöittävästä tekijöistä.

Tässä arviossa käytetään suomalaisia homogeenisten rakennetun ympäristön maankäyttötyyppien ominaiskuormitusarvoja, jotka on saatu Melasen (1981) tutkimuksesta sekä RYVE-projektiin kuuluvasta Kotolan ja Nurmisen (2003b) tutkimuksesta. Nämä tutkimukset ovat ainoita suomalaisia hulevesitutkimuksia, joissa mittauksia on tehty vähintään vuoden verran ja jotka ovat käyttäneet automatisoitua virtaamapainotteista näytteenotinta. Virtaamapainotteisen näytteenoton tärkeys korostuu erityisesti taajama-alueilla, koska alueiden vesitalous on muita maankäyttötapoja äärevämpi ja suurin osa kuormituksesta kulkeutuu vesistöön alkuhuhtouman aikana. Arviointiin käytetyt ominaiskuormitusarvot on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Arviossa käytetyt ominaiskuormitusarvot.

	Kokonaisfosfori (kg P/km ² /a)	Kokonaistyyppi (kg N/km ² /a)	Kiintoaine (10 ³ kg / km ² /a)	CODCr ³⁾ (10 ³ kg O ₂ / km ² /a)	BOD ³⁾ (10 ³ kg O ₂ / km ² /a)
Kerrostaloalueet ¹⁾	38	884	21	17	2
Pientaloalueet ¹⁾	24	495	10	11	2
Keskusta-alueet ²⁾	142	725	45	45	7
Teollisuus- ja varastoalueet ²⁾	86	290	79	19	4
Liikennealueet ²⁾	41	300	37	28	3

¹⁾ Kerrostaloalueen ja pientaloalueen ominaiskuormitusarvo fosforille, typelle ja kiintoaineelle on peräisin Kotolan ja Nurmisen (2003b) tutkimuksesta. Kumpikin arvo on tutkimuksessa laskettujen vuosihuuhtoumien keskiarvo. Kerrostaloalueen ominaiskuormitusarvo on peräisin Espoon Vallikallion tutkimusalueelta. Pientaloalueen ominaiskuormitusarvo on peräisin Espoon Laaksolahden tutkimusalueelta. COD_{Cr}:n ja BOD:n ominaiskuormitusarvot ovat peräisin Melasen (1981) tutkimuksesta.

²⁾ Keskusta-alueiden, teollisuus- ja varastoalueiden sekä tieliikennealueiden ominaiskuormitusarvot ovat peräisin Melasen (1981) tutkimuksesta. Keskusta-alueita olivat tutkimuksessa Kajaani ja Tampereen Hämeenpuisto; tässä arviossa käytetään alueiden varsin erisuuruisten ominaiskuormitusarvojen keskiarvoa.

³⁾ Biologisen ja kemiallisen hapenkulutuksen ominaiskuormitusarvot ovat kokonaisuudessaan peräisin Melasen (1981) tutkimuksesta.

Ominaiskuormitusarvot on mitattu sellaisilta alueilta, joihin sisältyy luokalle nimen antavan maankäytön lisäksi piha-alueet huoltoteineen sekä reunalla/ ympärillä olevaa aluetta katuineen niiltä osin kuin ne kuuluvat samaan valuma-alueeseen. Koko maassa yhden maankäyttöluokan sisällä voi olla varsin suuria eroja rakennusintensiteetissä, katujen varaamassa alassa, peitetyn pinnan määrässä, vihersuunnittelussa ja erillisviemäröinnissä. Kaikki nämä tekijät sää, maaston muodon ja maantieteellisen sijainnin lisäksi vaikuttavat suoraan tai epäsuorasti alueen hydrologiaan ja ainehuuhtoumaan. Tarkempaa kuormitusarviota varten tulisi kunkin yllä esitetyn yleistetyn maankäyttöluokan sisältää alaluokkia peitetyn pinta-alan, sijainnin, katujen pituuden tai suoraan erillisviemäriverkkoon yhdistetyn peitetyn pinnan osuuden perusteella. Tämä edellyttää kuitenkin sitä, että vastaaville alaluokille on olemassa mitatut tai mallin avulla laskettavissa olevat ominaiskuormitusarvot.

Pientalo- ja kerrostaloalueille löytyy ominaiskuormitusarvot Kotolan ja Nurmisen (2003b) tulosten lisäksi Melasen (1981) tutkimuksesta, jossa mittauksia tehtiin vuosina 1977-1979. Kotolan ja Nurmisen (2003b) ominaiskuormitusker-toimia pientaloalueelta ja kerrostaloalueelta käytetään tässä arviossa, koska ne edustavat uudempaa rakennus- ja yhdyskuntatekniikan kantaa kuin Melasen (1981) tutkimusalueet. Kolmasosa Suomen nykyisestä taajama-alasta on syntynyt vuosien 1980 ja 2000 aikana ja samalla pientaloasumisen osuus on kasvanut (Ristimäki et al. 2003).

Teollisuus- ja varastoalueet muodostavat hulevesiä, joten ne on sisällytetty arvioon. Ainoa suomalainen ominaiskuormitusarvo teollisuusalueelta on peräisin Melasen (1981) tutkimuksesta, jossa tutkimusalueena oli Nekalan alue Tampereella. On vaikea arvioida sitä, onko teollisuuden erillisviemäriin johdettavien hulevesien aiheuttama ainekuorma pienentynyt kuluneen yli kahdenkymmenen vuoden aikana vastaavalla tavalla kuin pistekuormitus.

Ympäristölupamenettelyssä ei ole erillisiä ohjeita teollisuuden hulevesien käsittelyvaatimuksista. Kuitenkin teollisuuden lupaehdot sisältävät usein vaatimuksen hulevesien jonkinasteisesta käsittelystä, jos piha-alueella on tuotantoon

liittyviä, päästöjä aiheuttavia toimintoja (Lameranta 2005). Tällaisten tuotantoon liittyvien päästöjen voi katsoa olevan osa laitoksen pistemäisiä eli ympäristölupamenettelyn alaisia päästöjä, ja siten tätä arviota koskien epäolennaisia. Jos erillisviemäriin johdetut hulevedet sisältävät tuotantoon liittyviä aineita merkittäviä määriä, voi katsoa ympäristölupaehtojen olevan riittämättömiä. Teollisuuden hulevesien osalta tätä arviota kiinnostavaa on pääosin hydrologisten muutosten aiheuttama maa-aineksen, liikenteen päästöjen ja laskeuman sisältämien aineiden huuhtouma.

Yhdyskuntateknisen huollon alueista energiantuotannossa, veden- ja jätevedenpuhdistamoilla syntyy myös hulevesiä samoin kuin raideliikenteen alueilla ja satama-alueilla. Näille alueille ei löydy ominaiskuormitusarvoja, joten ne on jätetty tämän arvion ulkopuolelle.

Tieliikennealueiden muodostamasta kuormituksesta osa on otettu huomioon muiden maankäyttötapojen ominaiskuormituskertoimissa (ks. yllä). Ainoa suomalainen liikenteen ominaiskuormitusarvoja mitannut tutkimus on Melasen (1981) tutkimus Herttoniemessä, Helsingissä. Tutkimusalueeseen kuului moottoritien lisäksi hieman asuin- ja teollisuusalueita.

2.3 Maankäyttötapojen varaama ala

Maankäyttötiedon pohjana käytettiin SLICES –paikkatietorekisteriä (Maanmittauslaitos 2005). Ne rekisterin alueidenkäyttöluokat, jotka voi yhdistää lähinnä taajamiin ja joissa hulevesiä voi olettaa muodostuvan, on lueteltu taulukossa 2. SLICES-rekisteri ei erittele sitä, sijaitseeko tiettyyn maankäyttöluokkaan kuuluva alue taajamassa vai haja-asutusalueella. Vastaavasti kuormitusarvio sisältää huomioonotettujen rakennetun ympäristön maankäyttöluokkien aiheuttaman kuormituksen erottelematta sitä, syntyykö kuormitus taajamassa vai haja-asutusalueella.

SLICES-luokat yleistettiin arviota varten, koska osa SLICES-aineistosta on eritelty tarkempiin alaluokkiin kuin mille huleveden ominaiskuormituskertoimia löytyy. SLICES-luokkien ja yleistettyjen maankäyttöluokkien vastaavuus on myös esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. SLICES-rekisterin taajamille tyypilliset maankäyttöluokat, arvioissa käytetyt SLICES-luokat sekä niiden jakautuminen yleistettyihin luokkiin.

	Arvioon sisältyvät luokat (X) ja lähdeaineiston ikä	SLICES-luokkia vastaavat luokat, joita käytetään tässä arvioissa
A. Asuin- ja vapaa-ajan alueet		
A1. Asuinalueet		
A11. Kerrostaloalueet	X (1999)	Kerrostaloalueet
A12. Pientaloalueet	X (1999)	Pientaloalueet
A121. Rivi- ja kytkettyjen pientalojen alueet	X (1999)	
A122. Erillispientalojen alueet	X (1999)	
A2. Loma- ja matkailualueet		
A21. Loma-asuntoalueet		
A22. Matkailupalvelujen ja lomailun alueet		
A221. Leirintä- ja asuntovaunualueet		
A222. Siirtolapuutarha- ja palstaviljelyalueet		
A3. Muut vapaa-ajantoimintojen alueet		
A31. Huvi- ja viihdepalvelujen alueet		
A32. Urheilu- ja virkistyspalvelujen alueet		
A33. Puistot		
B. Liiketoiminnan, hallinnon ja teollisuuden alueet		
B1. Liiketoiminnan ja hallinnon alueet	X (1999)	Keskusta-alueet
B11. Liike- ja toimistorakennusten alueet	X (1999)	
B111. Liikerakennusten alueet	X (1999)	
B112. Toimistorakennusten alueet	X (1999)	
B12. Yleisten rakennusten alueet	X (1999)	
B2. Teollisuus- ja varastoalueet	X (1999)	Teollisuusalueet
B21. Teollisuusalueet	X (1999)	
B22. Varastoalueet	X (1999)	
B221. Varastorakennusten alueet	X (1999)	
B222. Muut varastoalueet	X (1999)	
C. Tukitoimintojen alueet		
C1. Liikennealueet	X (1997)*	* Liikennealueet
C11. Tieliikennealueet	X (1997)*	
C111. Yleiset tiet		
C112. Kadut ja kaavatiet	X (1997)*	
C113. Yksitystiet	X (1997)*	
C12. Rautatie- ja muut raideliikennealueet		
C13. Lentoliikenne- ja ilmailualueet		
C14. Satama-alueet		
C15. Muut liikennealueet		
C2. Yhdyskuntateknisen huollon alueet		
C21. Ympäristöhuollon alueet		
C22. Energiahuollon alueet		
C23. Vesihuollon alueet		
C24. Muut yhdyskuntateknisen huollon alueet		

*ks. kappale "Maankäyttötietojen tarkkuus".

Tässä arvioissa käytettyjen SLICES-maankäyttöluokkien kuvaukset on esitetty liitteessä 1. SLICES-rekisteri on päivitetty vuonna 2000. Asuin- ja keskusta-alueiden pinta-alatieto vastaa vuoden 1999 tilannetta ja tiestön/kaduston pinta-alatieto vuoden 1997 tilannetta (Maanmittauslaitos 2005). Taulukossa 3 on esitetty arvioissa käytettyjen yleistettyjen maankäyttötapojen varaama pinta-ala koko Suomessa. Liitteessä 3 pinta-ala on eritelty päävesistöalueittain.

SLICES -rekisteri sisältää kolmella päävaluma-alueella (nro 4, 18 ja 81) maankäytön pääluokan A1 (Asuinalueet) kohdalla pinta-alatietoa alaluokkien lisäksi. Pääluokkaan A1 kuuluu kuitenkin yhteensä vain 8.4 ha maa-alaa. Tämä on jätetty pois huuhtouman laskennassa.

Teillä muodostuu myös hulevesiä siinä missä katualueillaakin, mutta luokkaa "Yleiset tiet", jotka yhdistävät taajamia, ei otettu tässä arvioissa huomioon. Tässä

Taulukko 3. Kuormitusarviossa käytettyjen yleistettyjen maankäyttöluokkien varaama ala Suomessa.

Yleistetty maankäyttöluokka	Pinta-ala (ha)
Pientaloalueet	278 777
Kerrostaloalueet	13 654
Keskusta-alueet	14 309
Teollisuus- ja varastoalueet	13 347
Liikennealueet (yli 20 m leveät)*	8 416
Yhteensä	328 503

Ks. Kappale ”Maankäyttötietojen tarkkuus”

luokassa on SLICES-rekisterissä pinta-alaa yhteensä 133 975 ha kuuluen tieluokkiin 1a, 1b ja 2a (yli 20 m leveät tiet; ks. kappale ”Maankäyttötietojen tarkkuus”).

Taajamien kokonaisala oli vuonna 2000 Ristimäki et al. (2003) mukaan 5574 km². Arviossa mukana olevat maankäyttöluokat tekevät tästä alasta 59 %. Arviossa huomioituun pinta-alaan kuuluvat tosin myös pientalot, yli 20 m leveät liikennealueet (yleisiä teitä lukuunottamatta) sekä teollisuusalueet ja teollisuuden varastoalueet haja-asutusalueella, koska SLICES-rekisteri ei erottele sitä onko tiettyyn maankäyttöluokkaa kuuluva alue taajamassa vai haja-asutusalueella. Luokka ”Pientaloalueet” ei kuitenkaan sisällä maataloja, jotka kuuluvat SLICES-rekisterissä pääluokkaan ”Maatalouden rakennettu maa”.

2.4 Maankäyttötietojen tarkkuus

SLICES-aineiston laatua on selvitetty referenssiaineiston perusteella (Maanmittauslaitos 2005). Laatuselvityksessä on johdettu korjauskertoimet luokkien pinta-alavastaavuudelle. Korjauskertoimet ovat SLICES-luokille A, B ja C 0,98-1,04. Tässä arviossa ei korjauskertoimia ole käytetty, koska pinta-alatietoa käytetään alaluokkatasolla, kun taas korjauskertoimet on esitetty pääluokille.

Kunkin SLICES-paikkatietorekisterissä olevan maankäyttötyypin ala on laskettu 25 m:n rasterin tarkkuudella. Käytännössä tämä on johtanut siihen, että alle 20 m leveät tiet ja kadut eivät näy tässä aineistossa teinä ja katuina vaan niiden varaama ala on liitetty ympäröivien maankäyttöluokkien alaan. Tietyn maankäyttöluokan varaama ala on laskettu yleistämällä siten, että rakennuksien lisäksi myös esimerkiksi rakennuksien tontti (ks. liite 2 selostus luokista) ja osa sen edessä olevasta katu- tai tiealueesta (niiltä osin kuin alle 20 m leveitä) on laskettu mukaan kunkin luokan alaan. Siten esimerkiksi luokka ”Kerrostalot” (A11) sisältää sekä talot, ympäröivän tontin ja tonttiin tai sen liitännäisalueeseen rajoittuvasta kadusta sen alan keskiviivaan asti (Mikkola 2004).

Ne liikennealueet yleisiä teitä lukuunottamatta, jotka näkyvät omissa luokissaan (C1, C11, C111) eli jotka ovat yli 20 m:n levyisiä, varaavat koko Suomessa 84 km²:n alan, eli alle 3 % arviossa huomioitujen maankäyttötapojen varaamasta alasta. Tähän luokkaan kuuluu sekä katuja että yksityisteitä (ks. liite 2 selostus luokan sisällöstä) mutta niiden varaamaa alaa ei ole SLICES-rekisterissä eroteltu toisistaan. Huuhtouman laskemisessa näiden alueiden varaaman alan oletetaan arviossa kuuluvan yleistettyyn luokkaan liikennealueet.

SLICES-luokkaan B21 (”Teollisuusalueet”) kuuluvat myös telakat ja telakka-altaat, eivät kuitenkaan vapaa-ajan veneilyn telakat ja altaat. Telakoiden alaa ei voi eritellä muusta teollisuudesta, mutta sen voi olettaa olevan pieni verrattuna teollisuuden varaamaan kokonaisalaan.

2.5 Luonnonhuuhtouma rakennetuilta alueilta

Arviossa käytetyt ominaiskuormitusarvot edustavat maankäytöltään mahdollisimman homogeenisten valuma-alueiden mitattua huuhtoumaa, eli ne sisältävät myös luonnonhuuhtouman. Tutkimusalueilla muodostuvaa luonnonhuuhtoumaa ei ole kuitenkaan arvioitu. Luonnonhuuhtouma arvioidaan seuraavassa kahdella tavalla.

Suomen ympäristökeskus käyttää typen ja fosforin luonnonhuuhtouman vesistöalueittaiseen laskemiseen menetelmää, jossa luonnonhuuhtouma on valuma-alueen turvemaiden osuuden funktio. Valuma-alueilla, joilla turvemaiden osuus on alle 30 % (kivennäisvaltaiset maat), eroavat eteläisen ja pohjoisen Suomen alueiden luonnonhuuhtoumat toisistaan (Mattson et al. 2003). Rakentamisessa suositaan muita maaperätyppejä ennen suo- ja kosteikkoalueita, joten tässä arviossa huomioiduissa maankäyttöluokissa voi olettaa turvemaiden osuudeksi 0 %. Funktioiden perusteella fosforin luonnonhuuhtouma on kivennäismailla pohjoisessa Suomessa $n. 3 \text{ kg P/km}^2/\text{a}$ ja eteläisessä Suomessa $7 \text{ kg P/km}^2/\text{a}$ sekä typen luonnonhuuhtouma pohjoisessa Suomessa $75 \text{ kg N/km}^2/\text{a}$ ja eteläisessä Suomessa $200 \text{ kg N/km}^2/\text{a}$. Eteläisen Suomen luonnonhuuhtouma-arvot kivennäismaa-alueelta edustavat suurinta luonnonhuuhtouman määrää Mattson ja muiden (2003) tutkimuksessa.

Tutkimusalueiden mitatusta huuhtoumasta voidaan vähentää luonnonhuuhtouma ennen minkäänlaista maankäyttöä käyttäen Mattson et al. (2003) luonnonhuuhtouma-arvoja. Eteläisen Suomen kivennäismaiden luonnonhuuhtouma-arvoja käytetään päävesistöalueille 1 – 42 ja pohjoisen arvoja päävesistöalueille 43 – 74. Rannikkoalueet jaetaan vastaavasti alueisiin nro 81 – 83 (etelä) ja 84 – 86 (pohjoinen). Tulokset taulukossa 4 on laskettu tätä menetelmää käyttäen. Rakentamisen alaisien alueiden ala on arvioitu vain koko maan tasolla (katso kappale 2.6), joten niiltä alueilta aiheuttamasta kokonaishuuhtoumasta vähennetään luonnonhuuhtouma eteläisen Suomen luonnonhuuhtouma-arvoja käyttäen.

Luonnonhuuhtoumaa voi olettaa muodostuvan tällä hetkellä vain niillä osilla tutkimusalueita, joita ei ole peitetty.

Alueilla, joilla päällystetyn pinnan osuus on yli 40 %, maaperällä ja maanpinnan kaltevuudella ei ole suurta vaikutusta valuntakertoimen ja siten ainehuuhtouman arvoon (Schueler 1994). Tästä johdettuna voi olettaa että luonnonhuuhtoumalla ei tällaisilla alueilla ole suurta merkitystä. Kuusiston (2002) analyysissä viideltä suomalaiselta taajamavesistöalueelta peitetyn pinnan osuus oli yli 40 % maankäyttötipeistä keskusta-alueilla (75 %), liike- ja teollisuusalueilla (75 %), koulu- ja kirkkoalueilla (60 %), sekä tiiviillä kerrostaloalueilla (50 %). Rivi- ja pienkerrostaloalueilla sekä väljillä kerrostaloalueilla peitetyn pinnan osuus oli 35 % ja pientaloalueilla 7-30 %. Kerrostaloalueiden (yleistetty maankäyttöluokka tässä raportissa) keskimääräinen peitetyn pinta-alan osuus on tästä päätellen myös yli 40 %. Luonnonhuuhtoumalla voi siis olettaa olevan merkitystä tässä arviossa huomioon otetuista maankäyttötavoista pientaloalueilla. Lisäksi Melasen (1981) tutkimalla moottoritiealueella oli päällystetyn pinnan osuus alle 40 %, joten liikennealueilla tulee ilmeisesti myös ottaa luonnonhuuhtouma huomioon.

Jos oletetaan että pientaloalueiden keskimääräinen peitetyn pinta-alan osuus on 15 % eli 85 %:lta alasta muodostuu luonnonhuuhtoumaa ($6 \text{ kg P/km}^2/\text{a}$ ja $170 \text{ kg N/km}^2/\text{a}$ eteläisen Suomen luonnonhuuhtouma-arvoja käyttäen), ovat pientaloalueiden ominaiskuormitusarvot kokonaisfosforille 25 % ja kokonaistypelle 34 % pienempiä kuin taulukossa 1. Pohjoisen Suomen luonnonhuuhtouma-arvoja vastaavasti käyttäen muodostuu luonnonhuuhtoumaa $2,6 \text{ kg P/km}^2/\text{a}$ ja $64 \text{ kg N/km}^2/\text{a}$ ja ominaiskuormitusarvot ovat pientaloalueilla kokonaisfosforille 11 % ja kokonaistypelle 13 % pienempiä.

Luonnonhuuhtouman osuus on koko maan tasolla tällä hetkellä edellisten oletusten perusteella korkeintaan 10-20 % luokkaa fosforin ja korkeintaan 20-30 %:n luokkaa typen kokonaishuuhtoumasta rakennetuilta alueilta.

2.6 Rakentamisen aikainen huuhtouma

Rakentamisen aikainen huuhtouma on useilla vedenlaatumuuttujilla mitattuna suurempi kuin valmiilta alueilta tuleva huuhtouma. Rakentamisen aikaista huuhtoumaa on arvioitu mittaamalla Suomessa ainoastaan Kotolan ja Nurmisen (2003b) tutkimuksessa, missä Espoon Saunalahdenrannan alueella mitattiin alueen rakentamisen aiheuttamaa huuhtoumaa. Kotola ja Nurminen (2003b) johtivat ominaiskuormitusarvon 13 kk:n mittausjaksolta, joka ajoittui viemäreiden ja teiden rakentamisvaiheeseen. Vuosihuhtoumaksi mitattiin kokonaisfosforille 57 kg/km²/a, kokonaistypelle 570 kg N /km²/a ja kiintoaineelle 60 500 kg/km²/a.

Taajamien kasvu vuosina 1995-2000 oli Ristimäen et al. (2003) mukaan 267 km² (53 km²/a) ja 3,1 % taajamien alasta. Taajamaväestö kasvoi tänä aikana 64 289 asukkaalla. Vuosihuhtouma rakennustoiminnasta voidaan arvioida seuraavien oletusten pohjalta:

- taajamien kasvu tapahtuu saman tyyppisenä rakennustoimintana kuin Espoon Saunalahdenrannassa (alunperin metsäalueelle rakennetaan yhdyskuntatekniikka asuinkerrostaloja varten),
- käytettävää ominaiskuormitusarvoa vastaava kuormitus kestää 1,5 vuotta.

Juuri valmistuneiden alueiden ainehuuhtouman voi odottaa olevan myös reilusti korkeampi kuin vanhempien alueiden, koska kasvillisuus joko puuttuu tai on nuorta muokatuilla osilla aluetta. Tämän vaiheen ominaiskuormitukseen tulisi-kin seuraavissa tutkimuksissa kiinnittää huomiota.

3 Tulokset

Lasketut vuosihuhtoumat kokonaistypelle, kokonaisfosforille, kiintoaineelle sekä kemialliselle ja biologiselle hapenkulutukselle päävesistöalueittain on esitetty liitteessä 3. Taulukossa 4 on esitetty huuhtouma koko Suomen tasolla.

Taulukko 4. Hulevesien aiheuttama kuormitus Suomessa.

Yleistetty maankäyttöluokka	Kokonaisfosfori (kg P a ⁻¹)*	Kokonaistyyppi (kg N a ⁻¹)*	Kiintoaine (10 ³ kg a ⁻¹)	COD _{Cr} (10 ³ kg O ₂ a ⁻¹)	BOD ₇ (10 ³ kg O ₂ a ⁻¹)
Pientaloalueet	50 367	897 671	26 937	30 665	4 182
Kerrostaloalueet	4 265	95 193	2 929	2 253	259
Keskusta-alueet	19 363	78 787	6 439	5 350	973
Teollisuus- ja varastoalueet	10 621	14 415	10 544	2 536	467
Liikennealueet (yli 20 m leveät)	2 906	9 814	3 114	2 356	236
Rakennusalueet	3 976	29 415	4 810	-	-
Yhteensä	92 324	1 141 195	54 773	43 161	6 117

*Typen ja fosforin kokonaiskuormituksesta on poistettu luonnonhuuhtouma. Fosforin luonnonhuuhtouma on ominaiskuormitusarvoihin perustuvasta kokonaishuuhtoumasta 18 % ja typen 33 %.

Sekä koko Suomen tasolla että kaikilla päävesistöalueilla pientaloalueet näyttävät olevan eniten hulevesikuormitusta aiheuttavana taajaman maankäyttötapa- na kaikkien viiden kuormitusmuuttujan kohdalla. Pientaloalueiden varaama pinta- ala on kertaluokkaa suurempi kuin yhdenkään muun taajamamaan käyttötavan varaama pinta-ala. Pientaloalueet aiheuttavat tästä johtuen suurimman kuormi- tuksen, vaikka niiden ominaiskuormitusarvot eivät ole taajamamaankäyttöta- voista korkeimpia. Koko fosforikuormituksesta pientaloalueiden osuus on 55 % ja koko typpikuormituksesta 79 %. Rakennusalueiden aiheuttama kuormitus on vähintään 4 % fosforin, 3 % typen ja 9 % kiintoaineen hulevesikuormituksesta yhteensä.

Arvioinnissa ei otettu huomioon sitä, että osa hulevesistä johdetaan muuta- mien kaupunkien keskusta-alueella sekaviemäriverkkoon.

4 Hulevesikuormituksen merkittävyys vesien tilalle

Rehevöittävän hulevesikuormituksen merkittävyyttä muuhun kuormitukseen verrattuna koko maan tasolla voi arvioida taulukossa 5 esitettyjen kuormitus- määrien perusteella.

Taulukko 5. Tähän asti huomioitujen kuormituslähteiden aiheuttama typpi- ja fosfori- kuormitus Suomen vesistöihin (Suomen ympäristökeskus 2004) sekä hulevesien aiheut- tama kuormitus.

	Kokonaisfosforikuorma (T P a ⁻¹)	Osuus (%)	Kokonaistyppikuorma (T N a ⁻¹)	Osuus (%)
Yhdyskunnat	224	5,2	12 347	15,8
Massa- ja paperiteollisuus	205	4,8	2 584	3,3
Muu teollisuus	25	0,6	931	1,2
Kalankasvatus	80	1,9	646	0,8
Turkistarhaus	45	1,0	430	0,6
Turvetuotanto	45	1,0	1 000	1,3
Maatalous	2 600	60,5	39 500	50,5
Haja-asutus	355	8,3	2 500	3,2
Metsätalous	350	8,1	4 100	5,2
Laskeuma suoraan vesistöihin	280	6,5	13 000	16,6
Rakennetun ympäristön huleve- det	92	2,1	1 141	1,5
<i>Yhteensä</i>	<i>4 301</i>	<i>100</i>	<i>78 179</i>	<i>100</i>

Suomen ympäristökeskus (2004) arvioi piste- ja hajakuormituksesta sekä las- keumasta vesipinnalle koostuvaksi kokonaiskuormitukseksi (ilman hulevesiä) pääosin vuoden 2003 tietojen perusteella 4 209 t P a⁻¹ ja 77 038 t N a⁻¹. Hulevesi- kuormitus mukaan lukien kokonaiskuormitus on kokonaisfosforille 4 322 t P a⁻¹ ja kokonaistypelle 78 752 t N a⁻¹. Hulevesien osuus on kokonaiskuormituksesta 2,1 % (kokonaisfosfori) ja 1,5 % (kokonaistyyppi).

Kuormitusta vesiin koko maan tasolla tarkastellessa rakennetun ympäristön hulevesien osuus typpi- ja fosforikuormituksesta on pienempi kuin yhdyskun- ta- ja teollisuuden, massa- ja paperiteollisuuden, haja-asutuksen sekä maa- ja metsätalo- uden aiheuttama kuormitus mutta suurempi kuin muun teollisuuden, kalankas- vatuksen, turkistarhauksen ja turvetuotannon aiheuttama kuormitus.

Taajamien hulevesiä muodostuu alalla, joka vuonna 2000 oli alle 2 % koko maan pinta-alasta (Ristimäki et al. 2003). Ristimäki et al. (2003) mukaan taajamien lukumäärä vuonna 2000 oli 748. Esimerkiksi maatalouden varaama pinta-ala taas vastaa 8 % koko maan alasta ja vuonna 2002 oli toiminnassa 75 474 maatilaa (Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus 2004).

Koko hulevesikuormitus purkautuu edellisestä päätellen suhteellisen pieneen määrään vesistöjä. Vastaavasti korostuu näillä alueilla hulevesikuormituksen merkitys vesien tila heikentäjänä muihin, kansallisella tasolla merkittävämpiin kuormittajiin verrattuna. Hulevesikuormituksen lisäksi taajamavesialueilla on myös yhdyskuntajäte-vesikuormituksen merkitys suurempi vesien tilalle kuin mitä valtakunnallinen määrävertailu eri kuormittajien välillä antaa ymmärtää. Hulevesien aiheuttama kuormitus ei siis ole yhtä diffuusia kuin perinteisistä hajakuormituslähteistä maataloudesta, metsätaloudesta ja haja-asutuksesta tuleva kuormitus vaan se on pikemminkin verrannollinen vesien kuormitukseen turvetuotantoalueilta, joka luetaan ympäristöluvanvaraiseksi kuormitukseksi, mutta jossa kuormitus on verrannollinen pinta-alaan niin kuin hajakuormituksessa. Seuraavassa verrataan hulevesikuormitusta sekä piste- että haja-kuormittajiin.

Hajakuormitus yhteensä, johon on laskettu maatalouden, metsätalouden, haja-asutuksen ja rakennetun ympäristön hulevesien aiheuttama vuotuinen huuhtouma, on kokonaisfosforille yhteensä $3\,418\text{ t P a}^{-1}$ ja kokonaistypelle $47\,813\text{ t N a}^{-1}$. Hulevesien osuudeksi tästä tulee vastaavasti 3,3 % ja 3,6 %.

Pistekuormitus yhteensä, johon on laskettu teollisuuden, yhdyskuntajätevesien, kalankasvatuksen, turkistarhauksen ja turvetuotannon päästöt sekä rakennetun ympäristön hulevesien aiheuttama huuhtouma on kokonaisfosforille 737 t P a^{-1} ja kokonaistypelle $19\,652\text{ t N a}^{-1}$. Hulevesien osuudeksi tästä tulee vastaavasti 15 % ja 9 %.

Myös päävesistöalueitasolla hulevesikuormituksen merkittävyyden voi muihin kuormittajiin verrattuna olettaa olevan samaa luokkaa kuin koko maan näkökulmasta. Merkityksen voi arvioida korostuvan vasta seuraavissa vesistöalueiden jakovaiheissa. Esimerkiksi Kuusisto (2002) laski tutkimuksessaan viideltä pieneltä valuma-alueelta (suurimmat n. 20 km^2) joiden alueella on kaupunkia, että suurin osa kuormituksesta oli peräisin kaupunkialueiden hulevesistä.

Koko maan tasolla vertailua eri kiintoainehuuhtouman lähteiden välillä ei voi tehdä, koska arvio muiden lähteiden aiheuttamasta kuormasta puuttuu. Korkeat kiintoainepitoisuudet ja kiintoaineen ominaiskuormitus taajamissa esimerkiksi maatalouteen ja metsätalouteen verrattuna (ks. esim. Kotola ja Nurminen 2003b) on ehkä jopa merkittävämpi vesien tilaa heikentävä tekijä taajamissa kuin typen ja fosforin huuhtouma.

Kiintoaineen yksi haittavaikutus vesistöjen tilaan on pohjan ekosysteemin elinolosuhteiden heikentymisessä uuden kiintoaineen jatkuvasti laskeutuessa. Kiihtynyt mataloituminen kiintoainetta keräävillä alueilla myös nopeuttaa rehevöitymistä. Kiintoaineen haittavaikutukset pohjan ekosysteemille ovat fyysisen vaikutuksen lisäksi ekotoksisia, koska taajamien kiintoaine kuljettaa mukanaan siihen adsorboituneita tai kompleksoituneita haitallisia aineita, jotka ovat osin eliöstön saatavilla.

Taajamien merkittävyttä vesien tilaan tulee typen, fosforin ja kiintoainekuormituksen lisäksi tarkastella haitallisten aineiden kuormituksen ja vesistön muuttumisen kannalta. Taajamavesistöjen muuttumista on tarkastellut Kuusisto (2002).

5 Yhdyskuntasuunnittelu hulevesikuormituksen kannalta

Ainehuuhtouma on kirjallisuuden mukaan riippuvainen päällystetyn pinnan osuudesta rakennetulla valuma-alueella. Vesiensuojelun ensimmäinen nyrkkisääntö kaikille rakennetun ympäristön maankäyttötavoille on siis minimoida päällystetyn pinnan määrä ainehuuhtouman pienentämiseksi (esim. Schueler 1995).

Hulevesien käsittelylle tai hulevesikuorman synnyn ehkäisylle ei tänä päivänä aseteta vaatimuksia kansallisella tasolla. Tässä arviossa käytettyjen tutkimus-

ten alueilla ei myöskään ollut asennettuna hulevesien käsittelytekniikkaa. Tässä tilanteessa voi vertailla eri maankäyttötyyppien edullisuutta vesien suojelun kannalta suoraviivaisesti muuntamalla tähänastisista tutkimuksista saadut pinta-alan suhteutetut ominaiskuormitusarvot asukasta kohti lasketuiksi ominaiskuormitusarvoiksi (kuva 1). Taulukko 6 esittää suomalaisten tutkimusten (Kotola ja Nurminen 2003, Melanen 1981) asukastiheyden ja peitetyn pinnan osuuden tutkimusvaluma-alueilla.

Taulukko 6. Asukastiheys ja päällystetyn pinnan osuus eri maankäyttöluokissa.

	Asukastiheys (as /km ²)	Päällystetty pinta-ala (%)	Tutkimusalue
Pientaloalueet ¹⁾	2 600	20	Laaksolahti, Espoo
Pientaloalueet ²⁾	3 000	29	Pakila, Helsinki
Kerrostaloalueet ²⁾	8 500	30	Kaukovainio, Oulu
Kerrostaloalueet ¹⁾	12 300	50	Vallikallio, Espoo
Kerrostaloalueet ²⁾	16 000	40	Kontula, Helsinki
Keskusta-alueet ²⁾	6 500	64	Kajaani
Keskusta-alueet ²⁾	12 500	67	Hämeenpuisto, Tampere

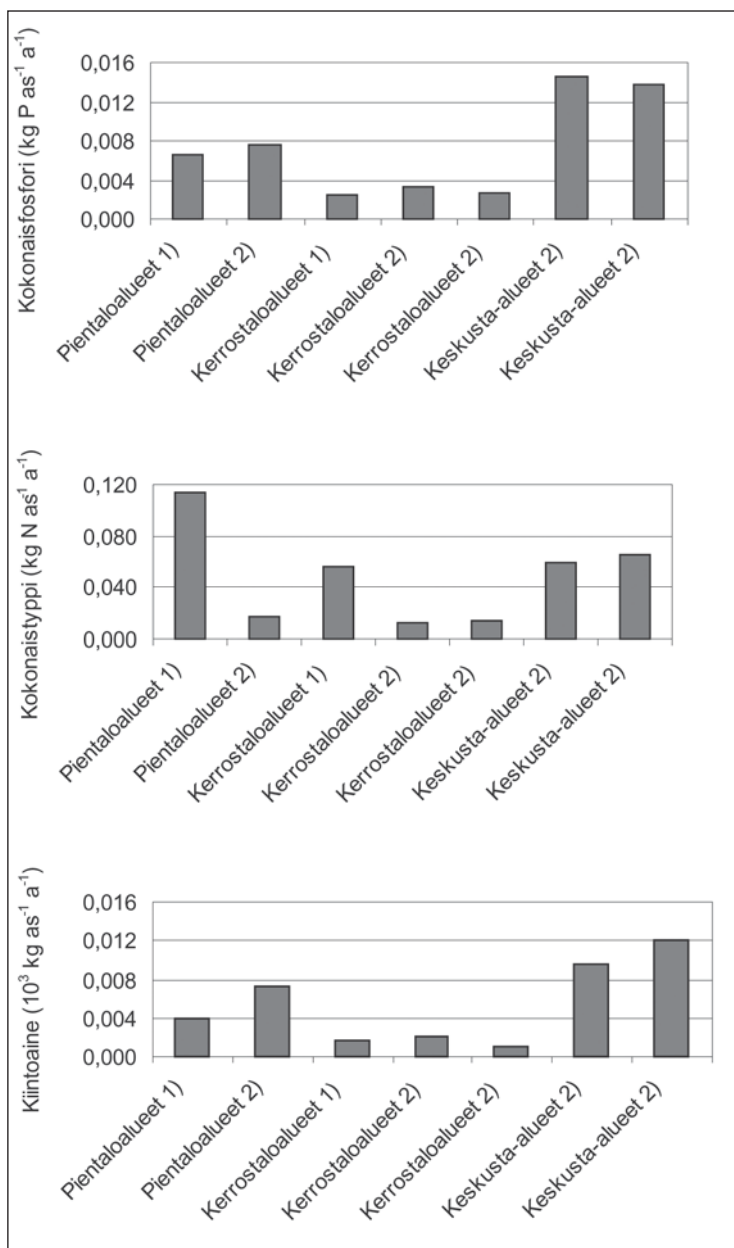
¹⁾ Kotola ja Nurminen (2003b)

²⁾ Melanen (1981)

Päällystetyn pinnan osuus kasvaa asukastiheyden noustessa, minkä perusteella voisi olettaa että vesistöystävällisin tapa on pientalorakentaminen. Näyttää kuitenkin siltä, että kerrostaloasuminen aiheuttaa asukasta kohti ja siten vesistöaluetasolla pienemmän kokonaishuuhtouman kuin pientalorakentaminen. Keskusta-alueiden edullisuutta ei voi aivan suoraan verrata asuinkerrostaloalueisiin ja pientaloalueisiin, koska keskustoihin sijoittuu paljon muitakin toimintoja kuin asuminen.

Jos hulevesikuormituksen vähennysmenetelmät otetaan joko vapaaehtoisesti tai lainsäädännön pohjalta käyttöön, on eri maankäyttötapojen paremmuutta vesiensuojelun kannalta varsin vaikea verrata keskenään. Hulevesien kuormituksen vähentämiseksi on olemassa runsaasti käsittelymenetelmiä ja muita ratkaisuja, jotka soveltuvat uusille ja/tai olemassa oleville alueille. Pientaloalueilla voi helpommin toteuttaa erityisesti hulevesien määrää vähentäviä menetelmiä (teiden ja talojen sijoittelu, kuivatustapa, jne.), toisaalta taas kerrostalo- ja keskusta-alueilla on mahdollista toteuttaa kalliitakin teknisiä ratkaisuja. Hulevesien käsittelymenetelmiä (nk. "Best Management Practices") ovat kuvanneet esimerkiksi Livingstone et al. (1997), Schueler (1995) sekä Novotny ja Olem (1993).

Kotolan ja Nurmisen (2003a ja 2003b) tutkimuksessa on vertailtu rakennetun ympäristön ainehuuhtoumaa maatalous- ja metsätalousvaltaisten valuma-alueiden ainehuuhtoumiin. Vertailun perusteella voi karkeasti arvioida, että uusia alueita rakennettaessa typen huuhtouma alueelta laskee jos rakennetaan peltovaltaisille alueille ja nousee jos rakennetaan metsäalueille. Fosforin ja kiintoaineen huuhtouma todennäköisesti vähenee jos pelto- tai metsäalueelle rakennetaan pientaloalue, mutta pysynee suunnilleen samana tai jopa kasvaa, jos rakennuskohteesta tulee pientaloaluetta tiiviimpi. Kotolan ja Nurmisen (2003a ja 2003b) vertailuissa ja tämän arvion tuloksia maa- ja metsätalouden kuormitukseen verrattaessa on sama epävarmuuden lähde, eli se että käytetyt maatalouden ja metsätalouden ominaiskuormitusarvot on johdettu joko pidemmän aikavälin mittauksista tai kokonaan eri vuosilta kuin rakennetun ympäristön ominaiskuormitusarvot.



Kuva 1. Kokonaisfosforin, kokonaistyypin ja kiintoaineen ominaiskuormitusarvot asukasta kohti kolmelle eri maankäyttötyypille. 1) Tutkimusalue Kotolan ja Nurmisen (2003) tutkimuksesta. 2) Tutkimusalue Melasen (1981) tutkimuksesta.

6 Johtopäätökset

Rakennettu ympäristö on kuudenneksi suurin typen ja fosforin kuormituslähde vesistöissä koko maan tasolla. Kuormitus on kuitenkin kertaluokkaa pienempi kuin maatalouden aiheuttama kuormitus ja hieman alle puolet pienempi kuin metsätalouden aiheuttama hajakuormitus. Typen hulevesikuormitus on 1,5 % ja fosforin 2,1 % vesistökuormituksesta koko maan tasolla. Itämeren ja suurten vesistöjen yleisen tilan kannalta ei hulevesikuormituksen vähentämisellä ole ensisijaista merkitystä. Toisaalta Suomen Itämeren suojeleohjelmassa ja Vesien-suojelun tavoitteet 2005 –ohjelmassa on sidottu teollisuus ja haja-asutus vähentämään päästöjään. Typen ja fosforin kuormitus rakennetusta ympäristöstä on tämän arvion mukaan suurempi kuin teollisuuden (poislukien massa- ja paperiteollisuus), ja hieman alle puolet pienempi kuin haja-asutuksen päästöt. Tämän perusteella tulisi myös rakennetun ympäristön kuormituksen vähentämistä vaatia ja koordinoita kansallisella tasolla.

Hulevesikuormitus keskittyy kuitenkin 748 taajaman yhteyteen, joten hulevesikuormituksen merkitys on korostunut hulevesien purkualueilla ja purkuvesistöissä. Kuusiston (2002) tulokset viideltä kaupunkialueita sisältävältä pieneltä valuma-alueelta osoittivat hulevesien aiheuttavan reilusti yli puolet koko valuma-alueen kiintoaine- ja fosforikuormasta, typen osalta hulevesien osuus oli hieman alle puolet. Hulevesiä vastaanottavien pienten vesistöjen ja vesialueiden tilan kannalta kuormituksen vähentämistä tulee siis harkita. Yksi seuraavista askelista kuormituksen vähennyksen tarveharkinnassa on arvioida hulevesikuormituksen osuus joko SLICES-rekisteriä käyttäen tai Kuusiston (2002) mallin mukaisesti niillä valuma-alueilla, joihin taajamat sijoittuvat.

Jos hulevesikuormituksen vähentämistekniikoita ei oteta käyttöön, näyttäisi kerrostaloasuminen olevan vesiensuojelun kannalta edullisin asumismuoto. Tämä johtopäätös perustuu kuitenkin pääosin 1950-90-luvulla rakennettujen alueiden ominaiskuormitustietoihin. Uusien alueiden kuormituksen synnylle oleellisista ominaisuuksista ja uusien alueiden aiheuttamasta kuormituksesta ei ole tutkimustietoa saatavilla edellä mainittua johtopäätöstä tukemaan.

Suomessa tarvitaan tutkimustietoa hulevesien hallintatekniikoiden tehokkuudesta erityyppisillä taajama-alueilla, joka ohjaisi vähennystekniikoiden valintaa. Lisäksi pitkäaikainen hulevesikuormituksen seuranta asuinalueilta, rakennettavilta alueilta sekä keskusta- ja teollisuusalueilta on tarpeen kuormitusarvion tarkentamiseksi. Nyt saatavilla olevat ominaiskuormitusarvot yhteensä kymmeneltä tutkimusalueelta ovat pääosin staattisia esimerkiksi sään suhteen Kotolan ja Nurmisen (2003b) johtamia kerrostalo- ja pientaloalueiden sadannasta riippuvaisia ominaiskuormitusfunktioita lukuun ottamatta.

Liikenteen aiheuttama hulevesikuorma olisi selvitettävä seuraavassa vaiheessa. Tästä arviosta jätettiin pois yleiset tiet, joka vastaa n. 40 % nyt arvioissa huomioon otetusta alasta. Yleisten teiden ominaiskuormituksen voi arvioida olevan vähintään samaa luokkaa kuin pientaloalueiden. Vastaavasti kuormitusarvio noussee noin puolitoistakertaiseksi kun yleiset tiet otetaan huomioon. Tällaista arviota varten tarvittaisiin kuitenkin mitattua tietoa useiden tiealueiden ominaiskuormitusarvoista.

Valuma-alueiden kaupungistuminen ja sen vesistövaikutukset.....

Paula Kuusisto
paula.kuusisto@helsinki.fi
Helsingin yliopisto, Luonnonmaantieteen laboratorio

Olli Ruth
olli.ruth@helsinki.fi
Helsingin yliopisto, Luonnonmaantieteen laboratorio

Matti Tikkanen
matti.tikkanen@helsinki.fi
Helsingin yliopisto, Luonnonmaantieteen laboratorio

I Johdanto

Kaupungit ja pienemmät taajamat ovat etenkin 1900-luvun jälkipuoliskolta alkaen laajentuneet ympäröivälle maaseudulle. Tiiviisti rakennettujen ydinkeskustojen ympärille on muodostunut asuin- ja teollisuusalueiden muodostama esikaupunkialue, jolla rakentaminen on paikoin hyvinkin tiivistä.

Valuma-alueella tapahtuvat muutokset vaikuttavat vesistöihin mm. valunnan määrän ja valumavesien mukana huuhtoutuvien epäpuhtauksien kautta. Taajama-alueiden vesistökuormitus liittyy osin pistelähteisiin, kuten teollisuuden tai jätevedenpuhdistamoihin. Taajama-alueilla syntyy kuitenkin myös huomattavaa hajakuormitusta, kun teille, katoille ja pysäköintialueille satava vesi huuhtoo mukaansa epäpuhtauksia kuten raskasmetalleja ja ravinteita.

Kaupunkirakenteen tiivistyessä rakennettujen alueiden keskellä virtaaviin vesistöihin kohdistuu myös maankäytöllisiä paineita. Vesistöjen ympäristöt halutaan usein rakentaa tehokkaasti, jolloin myös itse purouomia voidaan joutua muokkaamaan. Purojen muokkauksella saattaa olla haitallinen vaikutus purojen ekologisen monimuotoisuuden kannalta.

Tässä tutkimuksessa on tarkasteltu kaupunkirakentamisen hydrologisia vaikutuksia koko Suomessa viiden esimerkkivaluma-alueen avulla. Valuma-alueet edustavat melko suurten kaupunkien esikaupunkialueita, jotka ovat kehittyneet pääasiassa 1950 - 1980 -luvuilla. Tarkastelujakso ulottuu valuma-alueesta riippuen 1930 - 1950 -luvulta tähän päivään. Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää kaupunkirakentamisesta aiheutuneet muutokset valuntaprosesseissa, vesistökuormituksessa ja vesistöjen luonnontilaisuudessa. Tarkastelu tehtiin lähinnä karttatulkintaan pohjautuen, joten vesistövaikutusten arviointi perustuu pitkälti valuma-alueilla tapahtuneeseen maankäytön muutokseen.

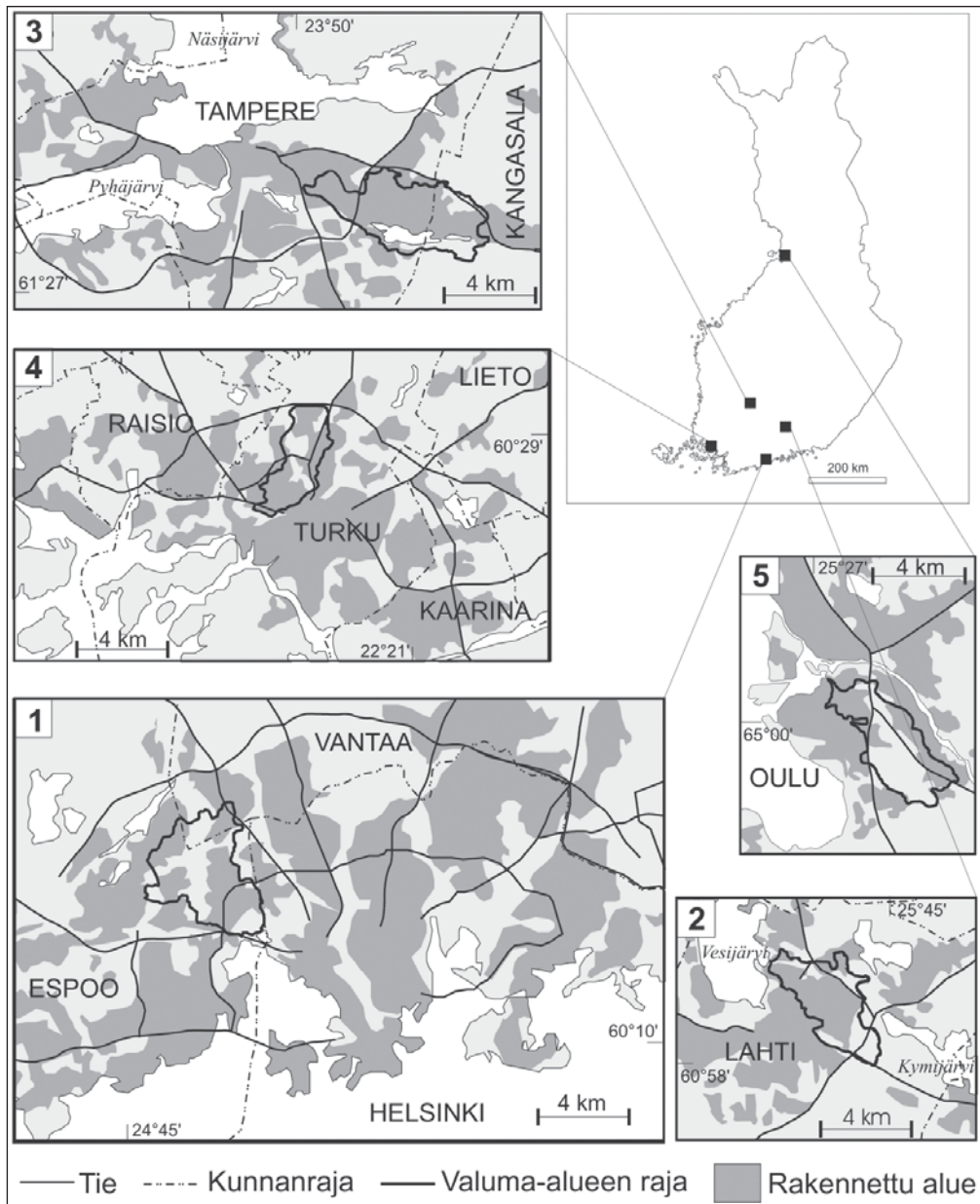
2 Tutkimusalueet

Viidestä tutkimuskohteesta neljä sijaitsee Etelä-Suomessa ja yksi Pohjois-Pohjanmaalla (Oulussa) (kuva 1). Tutkimuskohteiksi valituilla valuma-alueilla on viimeisen puolen vuosisadan aikana tapahtunut selkeä maankäytön muutos maaseutumaisesta rakennettuun kaupunkimaiseen ympäristöön. Kolme valuma-alue-

ta sijaitsee suuren kaupungin esikaupunkialueella ja kaksi muuta Suomen olosuhteisiin nähden melko suuressa kaupungissa.

Monikonpuron valuma-alue (18 km²) sijaitsee suurimmaksi osaksi Itä-Espoossa, mutta sen latvaosia ulottuu myös Helsingin ja Vantaan puolella. Monikonpuro, josta on käytetty myös nimitystä Kilonoja, laskee mereen Iso-Huopalahden pohjoisosassa. Monikonpuron valuma-alue kuuluu kokonaisuudessaan pääkaupunkiseudun yhtenäiseen esikaupunkialueeseen.

Kovasojan valuma-alue (8,8 km²) sijaitsee Turussa, keskustan länsipuolella. Kovasojan valuma-alue sijoittuu Turun ruutukaavakeskustaa ympäröivälle tiiviille esikaupunkialueelle. Kovasojan valuma-alue ulottuu pohjoisessa aivan taaja-asutuksen rajoille, mutta lännessä lähes yhtenäinen taaja-asutus jatkuu aina Raisioon ja Naantaliin saakka.



Kuva 1. Tutkimusalueiden sijainti. Kohteet: 1. Monikonpuro, 2. Joutjoki, 3. Kaukajärven laskuoja, 4. Kovasoja ja 5. Kaupunginoja.

Kaukajärven ja sen laskuojan valuma-alue (18 km²) sijaitsee Tampereen ydinkeskustan itäpuolella, Messukylän, Kaukajärven ja Vehmaisten kaupunginosissa. Osa valuma-alueesta ulottuu myös Kangasalan puolelle, Vatialaan. Lähimpänä keskustaa sijaitsevat vanhat esikaupunkialueet ovat muuttuneet teollisuusalueeksi, jota ympäröi nykyään valuma-aluetta hallitseva lähiökehä.

Kaupunginoja, josta on käytetty myös nimiä Hirosenoja ja Laaninoja, sijaitsee Oulussa. Alunperin puro on syntynyt kuivuneeseen Oulujoen sivu-uomaan, ja on saanut alkunsa tasaiselta suo-alueelta. Myöhemmin alueen yläpuolisten purojen virtaussuuntia on käännetty ja Kaupunginojaan on alettu juoksuttaa Juurusojan vettä pohjapadon avulla. Valuma-aluetta on kasvatettu edelleen ohjaamalla vettä hulevesiviemäreillä yli luonnollisten valuma-aluerajojen. Valuma-alueen koko on nykyään n. 14 km². Alajuoksullaan puro virtaa vanhan ruutukaa-vakeskustan läpi, jonka ulkopuolella ojaa ympäröi lähiövyöhyke.

Joutjoen valuma-alue (12 km²) sijaitsee Lahdessa, keskustan koillispuolella. Joutjoki saa alkunsa Joutjärvestä (ent. Möysänjärvi). Joutjoen luonnollinen virtaama on 82 l/s (Keto 2001a). Joen varressa sijaitseva Kymijärven voimalaitos johtaa kuitenkin Vesijärvestä ottamansa lauhde- ja jäähdytysvedet Joutjokea pitkin takaisin Vesijärveen. Voimalaitoksen käydessä Joutjokeen virtaa lauhdevesiä tehosta riippuen 2 - 4 m³/s (Keto 2001b). Joutjoen valuma-alue kuuluu kokonaisuudessaan Lahden keskustaa ympäröivään rakennettuun vyöhykkeeseen.

3 Aineisto ja menetelmät

3.1 Maankäyttö ja uomasto

Maankäytön muutosta on tutkittu pääasiassa karttatulkintaan pohjautuen käyttäen topografisia, perus- ja maastokarttoja. Tulkinnessa on käytetty apuna myös ilmakuvia ja maastotarkastuksia. Vanhimman alueelta saatavissa olleen kartan valmistusvuosi ja siten tarkastelujakson alkuhetki vaihtelee eri alueilla välillä 1936 - 1957. Valuma-alueiden maankäyttö on luokiteltu siten, että luokat ovat hydrologisten vaikutustensa suhteen mahdollisimman homogeenisia.

Päällystettyjen pintojen kokonaismäärän (TIA, total impervious area) arviointi valuma-alueilla on tehty maankäytön perusteella käyttäen kullekin maankäyttöluokalle keskimääräistä päällystetyn pinnan määrää. Keskimääräiset päällystetyn pinnan määrät metsä-, suo-, pelto- ja niittyalueille on arvioitu kirjallisuuden perusteella. Muille maankäyttötyypeille nykyiset ja tarkastelujakson alkuhetken päällystetyn pinnan määrät on pääasiassa mitattu ilmakuvilta kutakin maankäyttötyyppiä edustavilta esimerkialueilta (1 - 9 aluetta kutakin maankäyttötyyppiä kohti).

Tehokkaan päällystetyn pinnan osuus (EIA, effective impervious area) tarkoittaa sitä osaa päällystetystä pinnasta, joka on hydraulisesti suoraan tai muiden päällystettyjen pintojen kautta yhteydessä hulevesiviemäriverkostoon (Sutherland 1995). Sitä pidetään jopa parempana hydrologisena indikaattorina kuin päällystettyjen pintojen kokonaismäärää. EIA:n suora mittausta on kuitenkin lähes mahdotonta, joten arvioinnissa käytettiin hyväksi Sutherlandin (1995) esittämää empiiristä yhtälöä, jossa tehokkaan päällystetyn pinnan ero päällystetyn pinnan kokonaismäärään muotoutuu lähinnä hulevesiviemäriöinnin laajuuden perusteella. EIA laskettiin kullekin valuma-alueelle osavaluma-aluekohtaisesti.

Uomaston muutosta valuma-alueilla tarkasteltiin vertailemalla topografisten, perus- ja maastokarttojen vesistötietoja eri hetkinä. Lisäksi käytettiin hyväksi kaupungeilta saatuja hulevesiviemärikarttoja ja maastohavaintoja.

3.2 Valunta ja kuormitus

Pintavalunnan määrä ja siinä tapahtunutta muutosta tarkasteltiin valuntakertoimien avulla (pintavalunnan osuus sadannasta). Valuntakertoimien kannalta tärkeimmiksi tekijöiksi katsottiin maankäyttö (päällystettyjen pintojen määrän kautta), topografia ja maaperän laatu (Vesijohtojen ja viemäreiden suunnittelu 1979). Valuntakertoimien suuruus on arvioitu kirjallisuudessa esitettyjen arvojen pohjalta kullekin maankäytön, maaperän ja rinteiden kaltevuuden yhdistelmälle (taulukko 1). Valuntakertoimet määrättiin valuma-aluekohtaisesti 15x15 metrin ruuduille, joiden keskiarvona saatiin koko valuma-alueen valuntakerroin.

Valuma-alueen kaupungistumisen vaikutusta vesistökuormitukseen on tarkasteltu arvioimalla ravinteiden ja eräiden raskasmetallien hajakuormituksen määrä tällä hetkellä ja tarkastelujakson alkuhetkellä. Kuormitusmäärät on laskettu kirjallisuudessa esitettyjen eri maankäyttötyyppien ominaiskuormitusarvojen (kg/ha/a) pohjalta (ks. Kuusisto 2002). Tarkastelujakson alkuhetkeltä on mitattua tietoa ominaiskuormitusarvoista ainoastaan peltoalueiden fosforikuormituksesta (Kajosaari 1965). Muiden aineiden ja maankäyttötyyppien osalla 1930- ja 1950-lukujen ominaiskuormitusarvoina on käytetty nykyisiä arvoja, mikä ylivarvioi todennäköisesti tarkastelujakson alkuhetken raskasmetallikuormia.

Taulukko 1. Valuntakertoimen määräytyminen maankäytön, maaperän ja rinteiden kaltevuuden perusteella.

Rinteiden kaltevuus	0-1°			1-4°			> 4°		
Maaperäluokka*	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Harva pientaloalue	0,05	0,1	0,15	0,1	0,15	0,2	0,15	0,2	0,25
Tiivis pientaloalue	0,1	0,15	0,2	0,15	0,2	0,25	0,2	0,25	0,3
Hyvin tiivis pientaloalue	0,15	0,2	0,25	0,2	0,25	0,3	0,25	0,3	0,35
Rivi- tai pienkerrostaloalue, väljä	0,2	0,3	0,4	0,3	0,4	0,5	0,4	0,5	0,6
Tiivis kerrostaloalue, teollisuus- ja liikealueet, koulut	0,3	0,4	0,5	0,4	0,5	0,6	0,5	0,6	0,7
Hyvin tiivis kerrostaloalue	0,4	0,55	0,7	0,5	0,65	0,8	0,6	0,75	0,9
Puisto	0,05	0,1	0,13	0,15	0,2	0,25	0,2	0,3	0,35
Metsä	0,01	0,05	0,1	0,05	0,1	0,2	0,1	0,2	0,25
Liikennealue-asfaltoitu	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9
Liikennealue – sorapintainen	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5
Pelto, niitty, nurmi	0,05	0,1	0,15	0,15	0,25	0,35	0,3	0,4	0,55
Sorakentät	0,1	0,2	0,3	0,2	0,3	0,4	0,3	0,4	0,5
Vesi	1	1	1	1	1	1	1	1	1

*Maaperäluokat: A: Sora, hiekka, turve B: moreeni C: savi, siltti, lieju, kallio. Arvot on saatu yhdistämällä ja muokkaamalla eri lähteissä esitettyjä arvoja (Vesijohtojen ja viemäreiden suunnittelu 1979, Melanen & Laukkanen 1981, Values of runoff coefficient... 2001, Coefficient of runoff by... 2001).

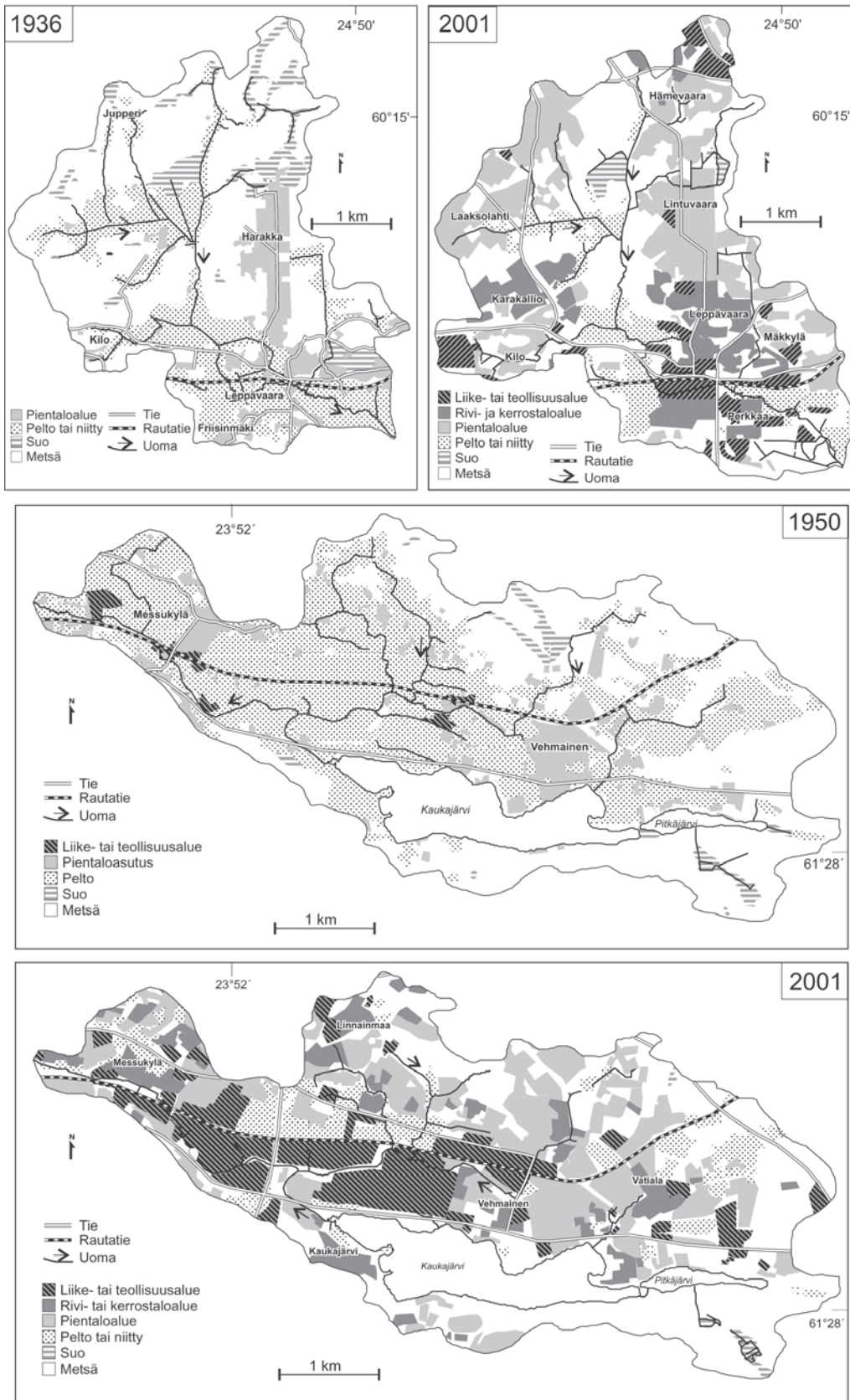
4 Tulokset

Kaikilla tutkituilla valuma-alueilla maankäytön intensiteetti on voimakkaasti kasvanut.

Tutkituista valuma-alueista Monikonpuro, Kovasoja ja Kaukajärven laskuoja ovat tarkastelujakson alkuhetkellä olleet hyvin maatalousvaltaisista. Monikonpuron valuma-alueella oli tarkastelujakson alussa vuonna 1936 pientaloasutusta ja Leppävaaran aseman ja Harakan alueilla. Suurin osa valuma-alueesta oli kuitenkin peltoina tai niittyinä ja metsäalueina. Rakentaminen jatkui 1960-luvulle pääasiassa pientaloalueiden laajenemisella. Kerrostalorakentaminen voimistui 1960- ja 1970-luvuilla ja valuma-alueen suurimmat kerrostalolähiöt syntyivät tuolloin (kuva 2). Etenkin valuma-alueen eteläosissa rakennetut alueet ovat tiivistyneet edelleen voimakkaasti ja Leppävaaran keskustassa rakentaminen on yhä kesken.

Nykyään Monikonpuron valuma-alueesta lähes puolet on rakennettua aluetta, mutta etenkin valuma-alueen pohjoisosissa rakentaminen on melko väljää. Teollisuutta on alueella melko vähän.

Kaukajärven valuma-alue on 1950-luvun taitteessa ollut vielä hyvin maatalousvaltainen, mutta Tampereen vaikutus näkyi jo yksittäisinä esikaupunkialueina (mm. Vehmainen) (kuva 2). Pientaloasutus laajentui parinkymmenen vuo-



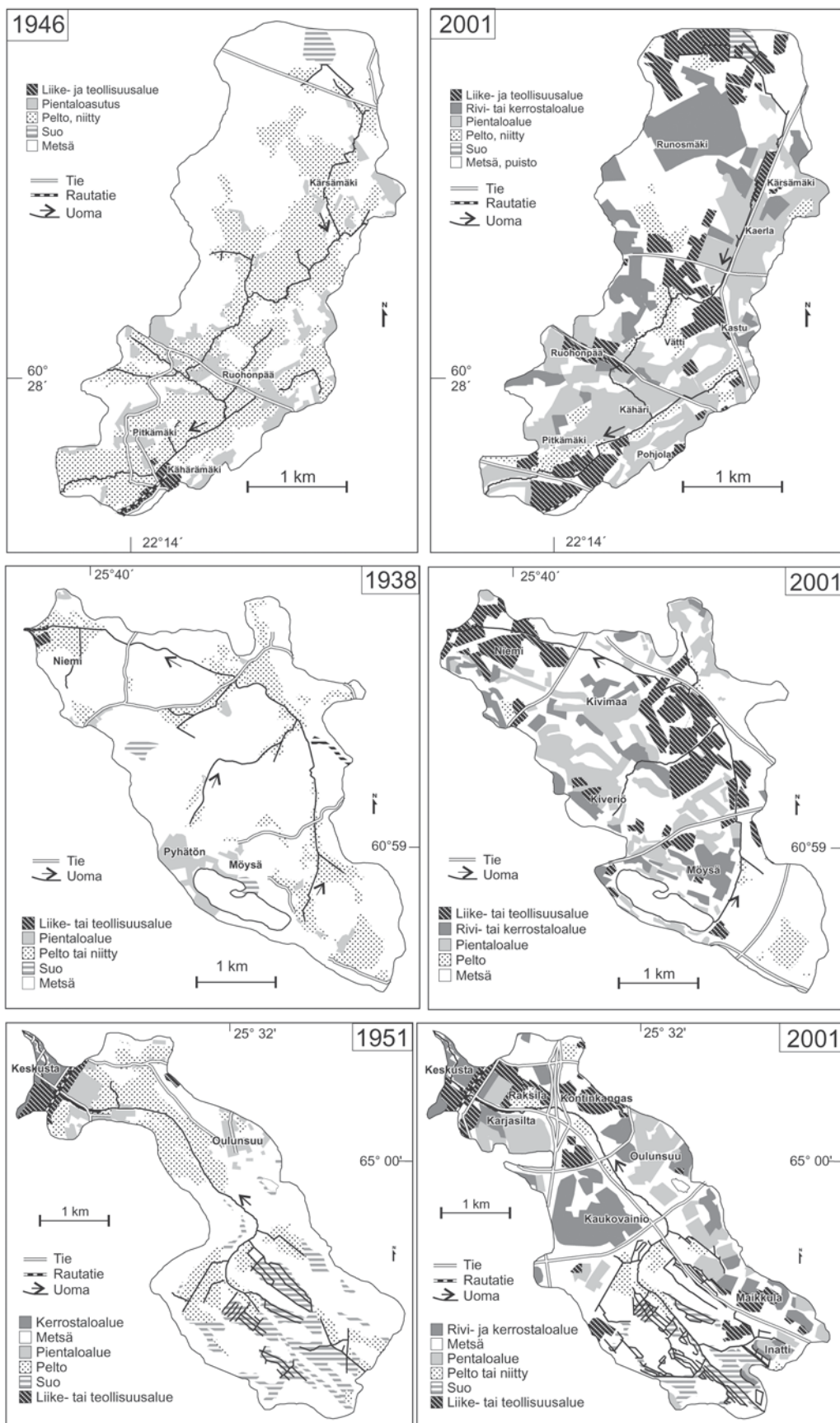
Kuva 2. Maankäytön muutos Monikonpuron (ylempi) ja Kaukajärven laskuojan (alempi) valuma-alueella.

den aikana sekä itään että länteen ja samanaikaisesti radanvarteen kehittyi suuri teollisuusalue, joka on jatkuvasti laajentunut ympäröiville pelloille. 1970- ja 1980-luvuilla alkoi voimakas kerrostalorakentaminen Kaukajärven laskuojan valuma-alueella. Suuria yhtenäisiä kerrostaloalueita ei kuitenkaan ole muodostunut, vaan kerrostalot sijoittuvat pientaloalueiden väliin. Nykyään valuma-alueen alavimmat peltoalueet ovat jo lähes kokonaan rakennettuja, ja asutus laajenee jatkuvasti valuma-alueen latvaosien karummille alueille.

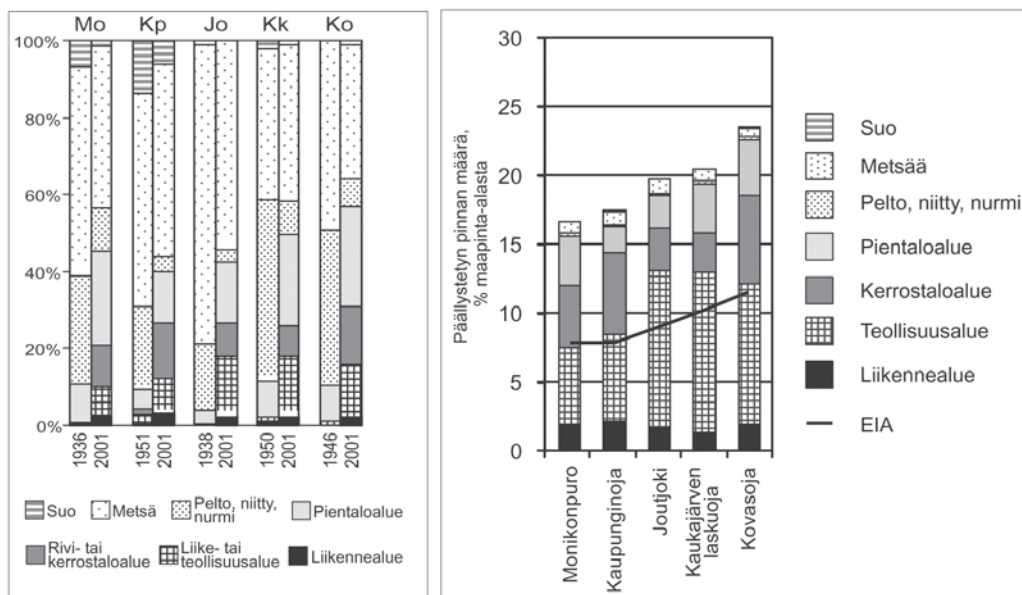
Kovasojan valuma-alueen asutus oli pääosin harvaa aina 1940-luvulle asti (kuva 3). Turun uloimmat työväenasuinalueet tosin ulottuivat aivan valuma-alueen rajoille asti. Toisen maailmansodan jälkeen asuntorakentaminen oli Kovasojan valuma-alueella voimakkaimmillaan, kun vanhimpien esikaupunkialueiden ulkopuolelle rakennettiin omakotitaloalueita (Andersson 1983). Alueen kerrostalolähiöt syntyivät pääasiassa 1960-luvulla. Valuma-alueelle on syntynyt aikojen kuluessa erillisiä teollisuus-, varasto- ja liiketoimintojen alueita, joista varhaisimmat keskittyivät eteläosaan ratapihan ympäristöön. Rakentaminen on 1970-luvun lopun jälkeen vähentynyt Kovasojan valuma-alueella voimakkaasti. Valuma-alue on kuitenkin tutkituista kohteista kaikkein rakennetuin. Rakennettujen alueiden osuus on lähes 60% valuma-alueen pinta-alasta.

Joutjoen ja Kaupunginjoen valuma-alueet ovat tarkastelujakson alkuhetkellä olleet edellisistä poiketen hyvin metsäisiä. Lahden esikaupunkialue ulottui vuonna 1938 Joutjoen valuma-alueen lounaisrajalle asti, mutta muuten ihmisen vaikutus valuma-alueella oli tuolloin pieni. Peltoja ja niittyjä oli vain kapealla vyöhykkeellä purolaaksossa (kuva 3). Asutus alkoi varsinaisesti levittäytyä alueelle toisen maailmansodan jälkeen (Kaupunkirakenteen kehitys 1878 - 1983 1984). Tuolloin rakennettiin lähinnä erillään toisistaan sijaitsevia pientaloalueita valuma-alueen lounaisosiin. Kerrostalolähiöiden ja suurten teollisuus- ja varastoalueiden rakentaminen aloitettiin varsinaisesti vasta 1960-luvulla. Kerrostalolähiöt ovat yhä melko pieniä ja sijaitsevat hajallaan. Teollisuusalueet muodostavat sen sijaan yhtenäisen vyöhykkeen Joutjoen varteen joen keski- ja alajuoksulle. Teollisuus-, liike- ja varastoalueiden osuus valuma-alueen maapinta-alasta on nykyään 16%.

Kaupunginjoen valuma-alueesta pieni osa on ollut jo 1950-luvun alussa tiiviisti rakennettua puron alajuoksulla (kuva 3). Oulun keskusta oli kuitenkin vielä tuolloin melko suppea, vaikka ensimmäiset pien- ja kerrostaloista koostuvat esikaupunkialueet jo ulottuivatkin radan itäpuolelle. Muuten valuma-alue oli suureksi osaksi metsäinen. Esikaupunkialueet laajenivat 1960- ja 70-luvuilla. Samaan aikaan syntyi myös laaja terveys- ja liikuntapalvelujen vyöhyke puron pohjoispuolelle. Noin puolet valuma-alueen rakennetusta alasta on kuitenkin muista valuma-alueista poiketen rakennettu vasta 1980-luvulla ja 1990-luvun alussa. Valuma-alueen latvaosan suoalueesta suuri osa on säilynyt rakentamattomana.



Kuva 3. Maankäytön muutos Kovasojan (ylin), Joutjoen (keskellä) ja Kaupunginojan (alin) valuma-alueilla.



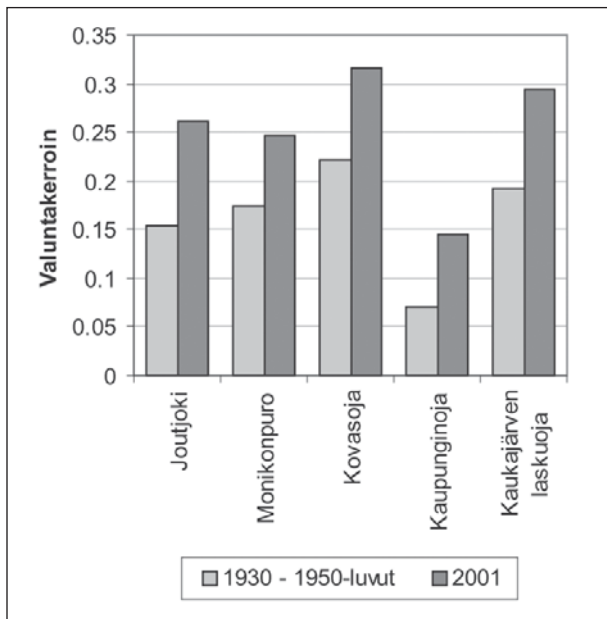
Kuva 4. Maankäytön muutos valuma-alueilla. Vasemmassa kuvassa eri maankäyttötyyppien prosentuaaliset osuudet valuma-alueen maapinta-alasta eri ajankohtina. Oikeanpuoleisessa kuvassa päällystetyn pinnan kokonaisosuus maa-alasta (pylväät) ja tehokkaan päällystetyn pinnan osuus maa-alasta (viiva).

Päällystetyn pinnan määrässä heijastuvat rakennetun alueen maankäyttölliset erot (kuva 4). Kaupunginojan ja erityisesti Joutjoen valuma-alueilla teollisuus- ja varastoalueiden suuri määrä nostaa päällystetyn pinnan määrän korkeaksi huolimatta rakennetun alan vähäisyydestä. Kovasojan valuma-alue on hyvin suureksi osaksi rakennettu ja teollisuusalueitakin on runsaasti. Siten sen valuma-alueella päällystetyn pinnan osuus maa-alasta on suurin, lähes 24%. Monikonpuron valuma-alueella sen sijaan rakennettujen alueiden suuri määrä tasautuu rakennusväljyydellä.

Tehokkaan päällystetyn pinnan osuudet (EIA) ovat selkeästi TIA:ta pienempiä. Koko valuma-alueiden arvot vaihtelevat välillä 7,8 - 11,5 %.

4.1 Valuntakertoimet

Valuntakertoimien suuruusluokassa heijastuvat valuma-alueiden yleiset ominaisuudet, kuten maaperä ja topografia hyvin voimakkaasti. Kaikkein pienin valuntakerroin on Kaupunginojan valuma-alueella, missä maaperä on suurelta osin hyvin vettä läpäisevää (sora, hiekkaa ja etenkin turvetta) ja maasto on tasaista (kuva 5). Valuntakertoimia pienentäviä sora- ja hiekka-alueita on myös Joutjoen ja Kaukajärven laskuojaan valuma-alueilla. Joutjoen valuma-alue kuuluu suureksi osaksi ensimmäiseen Salpausselkään ja Kaukajärven laskuojaan valuma-alueella sijaitsee osia suuresta harjujaksosta. Kovasojan valuma-alueen suuri valuntakerroin selittyy rakennettujen alueiden laajuuden lisäksi savisella maaperällä ja savikolta nousevien mäkien runsailla avokallioilla.

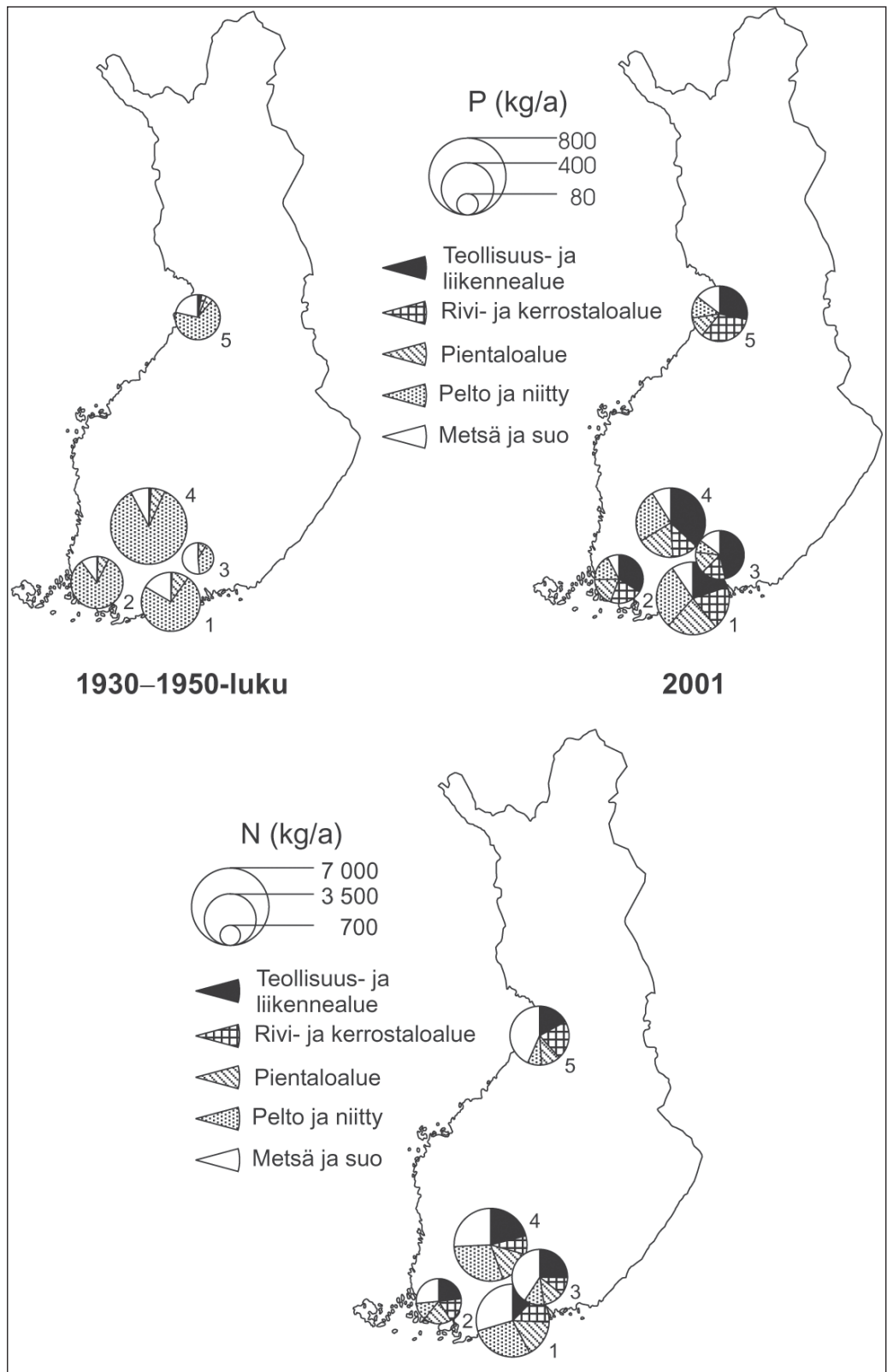


Kuva 5. Maa-alueiden valuntakertoimien muutos 1930 - 1950 -luvulta vuoteen 2001.

Kaupunkirakentaminen on kasvattanut valuntakertoimia 42 – 103 % (kuva 5). Muutos on suurin luonnontilassa parhaiten vettä läpäisevillä valuma-alueilla eli Kaupunginojan ja Joutjoen valuma-alueilla. Luonnontilassa suuri osa valunnasta imeytyy näillä alueilla maahan, mutta pintojen päällystäminen kasvattaa pinta-valuntaa voimakkaasti.

4.2 Vuosittainen vesistökuormitus

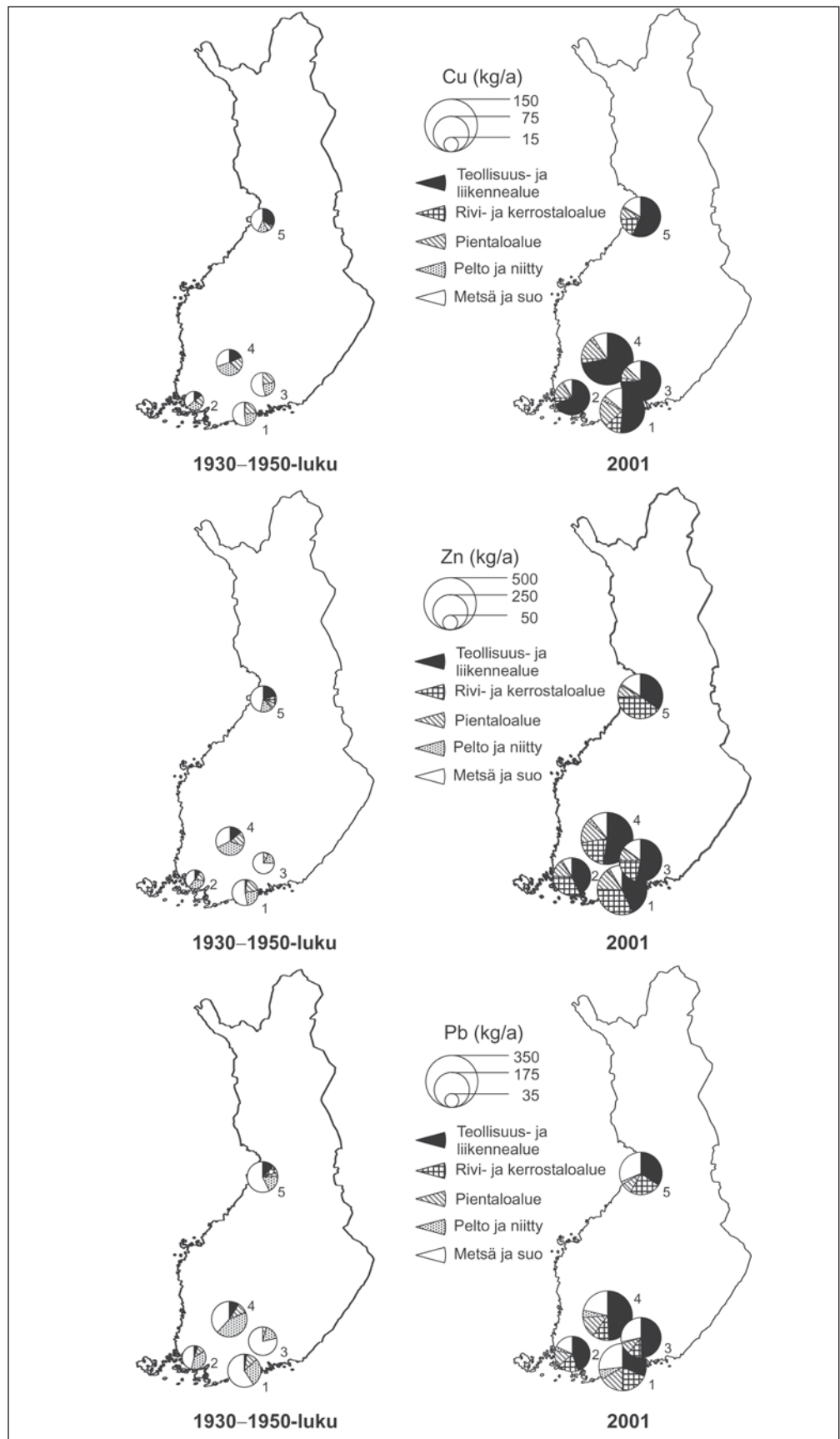
Fosforin huuhtoutuminen oli 1930 - 1950-luvuilla riippuvainen peltojen määrästä. Arvioidun ominaiskuormituksen mukaan fosforikuormitus oli suurinta peltovaltaisilla Kaukajärven laskuojan ja Kovasojan valuma-alueilla (kuva 6). Kummallakin alueella pellot vastasivat yli 80% laskennallisesta fosforikuormituksesta. Nykytilanteessa rakennettujen alueiden osuus fosforikuormituksesta on hallitseva (62 – 75 %). Fosforikuormituksessa tapahtuneet muutokset riippuvat kuitenkin enimmäkseen tarkastelujakson alkuhetken maankäytöstä. Monikonpuron, Kaupunginojan ja Joutjoen valuma-alueilla fosforikuormitus on tarkastelujakson aikana kasvanut (Joutjoen valuma-alueella lähes 40 %). Sen sijaan Kaukajärven ja Kovasojan valuma-alueilla, jotka ovat 1930 - 1950 -luvulla olleet maatalousvaltaisia, fosforikuorma on laskelmien mukaan jopa vähentynyt 1930 - 1950-luvulta tähän päivään.



Kuva 6. Arvio fosforikuormituksen muutoksesta valuma-alueilla 1930 - 1950 -luvulta vuoteen 2001 sekä arvio vuosittaisesta typikuormituksesta vuonna 2001. Kohteet ja tarkastelujakson alkuvuosi: 1. Monikonpuro 1936, 2. Kovasoja 1946, 3. Joutjoki 1938, 4. Kaukajärven laskuoja 1950, 5. Kaupunginoja 1951.

Rakennettujen alueiden osuus on eri maankäyttömuodoista suurin myös typpikuormituksessa (42 – 61 %) (kuva 6). Pienimmillään rakennettujen alueiden osuus on peltovaltaisimmilla alueilla (Monikonpuron ja Kaukajärven laskuojan valuma-alueilla), joilla pelto- ja niittyalueiden osuus typpikuormituksesta on lähes kolmannes.

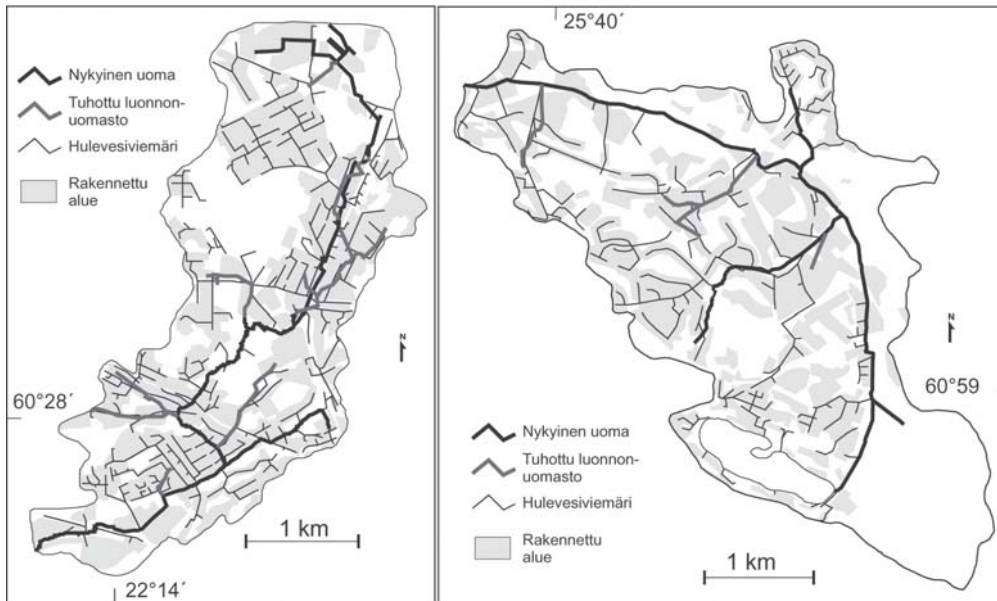
Raskasmetallien vuosittaiset kuormat vesistöihin olivat arvioituihin ominaiskuormitusarvoihin perustuen 1930 - 1950-luvuilla melko pieniä ja syntyivät pääasiassa pelto- ja metsäalueilla (kuva 7). Kaikkein teollistuneimmilla ja tiheimmin asutuilla valuma-alueillakin rakennetut alueet synnyttivät vain noin neljäsosan raskasmetallikuormasta. Vuoteen 2001 mennessä kuparin ominaiskuormitus oli kuitenkin valuma-alueilla kasvanut noin 2 - 4 -kertaiseksi, sinkin 2,5 - 3 -kertaiseksi ja lyijyn noin 2-kertaiseksi. Rakennettujen alueiden osuus on nykyisestä sinkki- ja kuparikuormituksesta 80 – 90 % ja lyijykuormituksestakin yli 2/3. Teollisuusalueet hallitsevat erityisesti kuparikuormitusta. Sinkkikuormituksessa sen sijaan muilla kuin pientaloista koostuvilla asuinalueilla on lähes teollisuusalueisiin verrattava vaikutus.



Kuva 7. Arvio vuosittaisen kupari-, sinkki- ja lyijykuormituksen muutoksesta 1930 - 1950 -luvulta vuoteen 2001. Kohteet ja tarkastelujakson alkuvuosi: 1. Monikonpuro 1936, 2. Kovasoja 1946, 3. Joutjoki 1938, 4. Kaukajärven laskuoja 1950, 5. Kaupunginoja 1951.

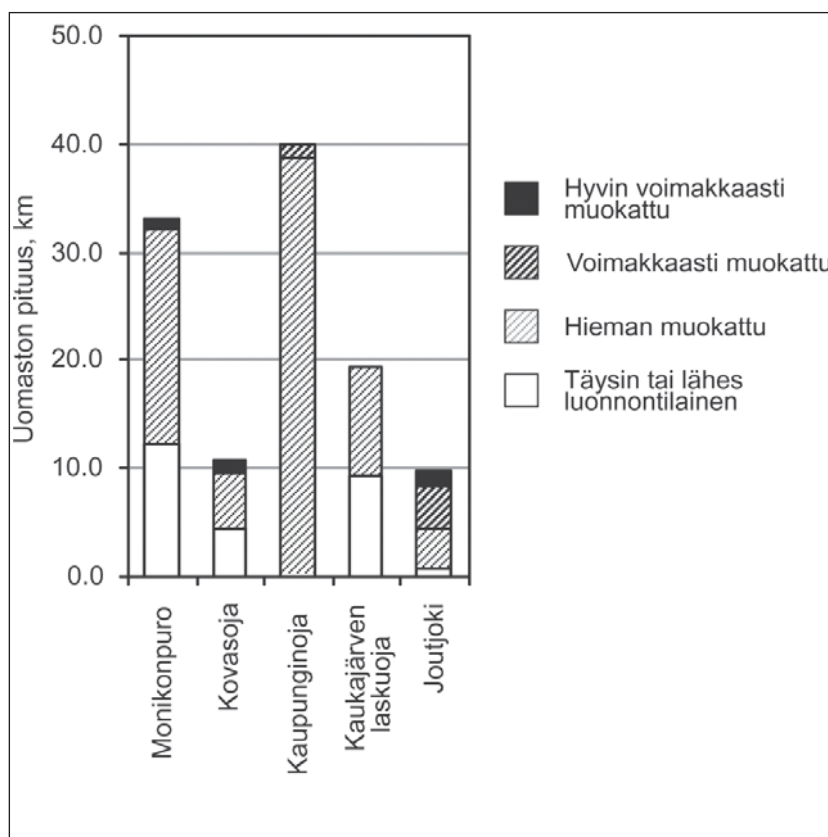
4.3 Uomaston muutokset

Suurimmalla osalla valuma-alueista avouomaston pituus on tarkastelujakson aikana hieman laskenut. Suurin muutos on ollut Kovasojan valuma-alueella, jolla luonnollisen uomaston hävittäminen on vähentänyt uomatiheyden puoleen 1940-luvun tilanteesta. Kaupunginojan valuma-alueella voimakas soiden ja metsien ojitus on taas kasvattanut avouomien tiheyttä yli 40 %. Uomaston kokonaispituus on kuitenkin kaikilla valuma-alueilla kasvanut erittäin paljon hulevesiviemäröinnin myötä (ks. kuva 8). Suurin muutos on Joutjoen valuma-alueella, missä uomatiheys on kasvanut lähes nelinkertaiseksi.



Kuva 8. Kovasojan ja Joutjoen valuma-alueiden uomaston rakenteesta ja pituudessa tapahtuneet muutokset

Tutkittujen puron uomia on muokattu melko laajasti. Monikonpurossa, Kovasojassa ja Kaukajärven laskuojan valuma-alueen puroissa täysin tai lähes luonnontilaisia uoman osuuksia on vielä melko paljon (lähes tai yli 40 %) (kuva 9). Luonnontilaiset uoman osuudet sijoittuvat pääasiassa metsäisiin latvapuroihin sekä sedimenttitasangoille, missä purot yhä meanderoivat. Sen sijaan Joutjoessa ja Kaupunginojassa luonnontilaisia osuuksia ei juuri enää ole. Hieman muokatut, kaivamalla tai ruoppaamalla syvennetyt, uomat muodostavat suurimman luokan kaikilla valuma-alueilla. Kaupunginojan valuma-alueella suoalueille kaivetut ojat nostavat hieman muokattujen uomien osuuden yli 90 % uomaston kokonaispituudesta. Voimakkaasti muokattuja, kivettyjä tai betonoituja, uoman osuuksia on Joutjoessa lähes 4 km:n matkalla, Kaupunginojassa Oulun keskustan ja Monikonpurossa Leppävaaran keskustan kohdalla. Joutjoki on pitkälti kivetty ja betonoitu voimalaitoksesta tulevien lauhdevesien aiheuttaman eroosiovaaran vuoksi. Putkitettujen osuuksien (hyvin voimakkaasti muokatut uomat) pituus on suurimmillaan Kovasojassa ja Joutjoessa. Leppävaaran keskustassa Monikonpuro on asuntoalueen halki kulkevan keinotekoisen uoman lisäksi johdettu liikekeskusten kohdalla osittain maan alle putkeen ja kivettyyn avokuiluun.



Kuva 9. Eri asteisesti muokattujen purojen osuuksien pituudet.

5 Tulosten tarkastelu

5.1 Maankäytön muutos ja valunta

Kaikilla valuma-alueilla tapahtuneet maankäytön muutokset ovat huomattavia. Valuma-alueet ovat muuttuneet metsien tai peltujen hallitsemasta maalaismaaisesta rakennetuksi lähiöalueeksi rakentamistavan vaihdellessa esikaupunkimaisesta keskustamaiseen. Tarkastelujakson alkuhetken maankäytön mukaan valuma-alueet on jaoteltavissa maatalousvaltaisiin (Kovasjojan, Monikonpuron ja Kaukajärven laskuojan valuma-alueet) sekä metsäisiin tai soisiin (Joutjoen ja Kaupunginojan valuma-alueet). Tarkastelujakson alkuhetken maankäyttö heijastuu myös nykyisessä maankäytössä. Kaikkein rakennetuimpia ovat ne valuma-alueet, joilla ihmisen toiminta oli intensiivistä jo 1900-luvun alkupuoliskolla. Nämä valuma-alueet sijaitsevat myös Suomen suurimpien kaupunkien esikaupunkialueella.

Rakennettujen alueiden laajeneminen heijastuu myös päällystettyjen pintojen määrän kasvussa, joskaan ei suorassa suhteessa. Päällystettyjen pintojen määrään vaikuttavat voimakkaimmin teollisuus- ja liikealueet sekä hyvin tiiviisti rakennetut kerrostaloalueet. Tehokkaan päällystetyn pinnan osuus vaihtelee vieläkin enemmän eri maankäyttötyyppien välillä ja erot rakennetun alan kokonaisuuteen ovat huomattavia. Päällystetyn pinnan osuus (sekä TIA että EIA) vaihtelee eri valuma-alueiden välillä hyvin vähän. Valuma-alueet ovat erilaisista kehityshistorioista huolimatta melko samankaltaisia. Kaikilla valuma-alueilla rakentaminen on edennyt pitkälle, ja uudisrakentamiseen soveltuvia kohteita on melko vähän. Kaikki valuma-alueet on luokiteltavissa esikaupunkialueiksi, joilla

laajojen asuin- ja teollisuusalueiden väliin on jäänyt paljon rakentamattomiakin alueita, lähinnä metsä- ja peltolaikkuja. Mikään valuma-alue ei sijaitse keskusta- maisella alueella kuin pieneksi osaksi. Suomen kaupungeissa hyvin tiiviisti rakennetut ydinkeskustat ovat melko pienialaisia, eikä usean neliökilometrin suuruisella valuma-alueella liene mahdollista saavuttaa tehokkaan päällystetyn pinnan määrässä 15 %:n rajaa. Pienemmillä valuma-alueilla päällystetyn pinnan osuudet voivat sen sijaan nousta hyvinkin suuriksi.

Päällystetyillä alueilla veden pintavalunta ja siten valuntakertoimet kasvavat. Veden imeytyminen maahan vähenee, mikä voi vaikuttaa mm. pohjaveden muodostumiseen ja laskea pohjaveden pintaa. Pohjaveden muodostumisen kannalta rakentamiselle herkimpiä alueita ovat sora- ja hiekkamuodostumia sisältävät Joutjoen, Kaupunginojan ja Kaukajärven laskuojan valuma-alueet. Näillä alueilla kaupunkirakentaminen ja siihen liittyvä päällystettyjen pintojen kasvu ovat muuttaneet valuntaoloja luonnonoloista hyvin poikkeaviksi ja vähentäneet pohjaveden muodostumista. Laajoja savikkoja käsittävillä valuma-alueilla, kuten Kovasojan valuma-alueella, rakentamisen merkitys on pienempi. Päällystettyjen pintojen lisääntyessä yleensä pintavalunnan lisäksi myös kokonaisvalunta, tulvavirtaamat ja veden virtausnopeudet kasvavat, mikä voi johtaa myös eroosioon ja ekologiin muutoksiin.

Päällystetyn pinnan määrän on havaittu monissa tutkimuksissa olevan tärkein kaupunkirakentamisen mittari hydrologisten ja vesistöjen ekologisten vaikutusten kannalta. Muutosten riippuvuus päällystetyn pinnan määrästä vaihtelee eri tutkimusten välillä. Monissa tutkimuksissa uomamorfologisten ja ekologisten muutosten on havaittu alkaneen TIA:n saavuttaessa 8-15% tason (Schueler 1994, Horner & May 1998). Toisaalta joissakin tutkimuksissa muutosten on havaittu alkaneen vasta EIA:n ollessa 8-12% (Booth & Jackson 1997, Wang ym. 2001). Voidaan kuitenkin katsoa, että tutkitut valuma-alueet ovat päällystetyn pinnan määrän perusteella niin kaupungistuneita, että fysikaalisissa ja ekologisissa tekijöissä tapahtuneet muutokset ovat todennäköisiä. EIA:n mukaan arvioituna nämä valuma-alueet ovat vielä alle sen rajan, missä muutosten on havaittu alkaneen. TIA:n mukaan sen sijaan millään valuma-alueella ei voida enää pitää yllä kaupungistumiskehitystä edeltänyttä tilaa puron ekologiassa. Valuma-alueilla tulisi kaupunkirakentamisen vaikutuksia vesistöihin ehkäistä parhaalla mahdollisella tavalla mm. käyttämällä huleveden käsittelymenetelmiä (Schueler 1994). Kokonaisuudessaan valuma-alueet ovat vielä niin vähän rakennettuja (EIA ja TIA < 25%), että vesien ekologinen tila on mahdollista pitää monipuolisena (vrt. Schueler 1994).

5.2 Vesistökuormitus ja sen kehitys

Vesistökuormitus on tutkituilla valuma-alueilla muuttunut sekä maankäytön muutosten että mm. maatalouden harjoittamisessa ja liikenteen määrässä tapahtuneiden muutosten vuoksi.

Kaupunkirakentaminen aiheuttaa huomattavan ravinnekuorman vesistöihin. Rakennettujen alueiden pinta-alaosuus on tutkituilla valuma-alueilla niin suuri, että niillä syntyy suurin osa valuma-alueiden fosfori- ja typpikuormituksesta. Vaikka pellot ovat vähentyneet voimakkaasti, on niilläkin edelleen esikaupunkialueilla huomattava merkitys ravinteiden hajakuormitukseen. Rakennettujen alueiden peltoalueisiin nähden pieni ominaiskuormitus heijastuu valuma-alueilla tapahtuneissa kuormituksen muutoksissa. 1930-1950-luvuilla peltovaltaisina olleilta alueilta huuhtoutui enemmän fosforia kuin nykyään. Muutos hyvin metsäisestä rakennetuksi alueeksi on luonnollisesti kasvattanut kuormitusta vesistöihin.

Raskasmetallikuorman kehittyminen liittyy ravinteita selkeämmin kaupunkirakentamiseen (vrt. Bhanduri et al. 2000). Lyijyn, kuparin ja sinkin kuormitus on maa- ja metsätalousvaltaisilla valuma-alueilla ollut 1930-1950-luvuilla melko pieni, ja kuormitus on syntynyt pääosin metsä- ja peltoalueilla mm. luonnollisen rapautumisen seurauksena. Kaupunkirakentamisen myötä raskasmetallikuormat ovat kasvaneet 2 - 4 -kertaisiksi. Raskasmetallien lähteisiin kuuluvat mm. erilaiset pinnoitteet ja kattomateriaalit sekä liikenne. Tärkein kuormituksen suuruuteen vaikuttava tekijä on ominaiskuormitusarvojen perusteella teollisuusalueiden laajuus. Näiden vaikutus on kuitenkin kaikkein vaikeimmin arvioitavissa keskimääräisillä ominaiskuormitusarvoilla, sillä kuormitus riippuu olennaisesti myös teollisuudenalasta.

Ravinteiden, kiintoaineen ja erityisesti raskasmetallien ominaiskuormitusarvoista on saatavissa melko vähän tietoa ja osin tieto on jo vanhentunutta. Esimerkiksi lyijyn ominaiskuormitusarvot perustuvat 1970-luvun lopun mittauksiin (Melanen 1981), jolloin autojen polttoaineissa oli huomattavasti nykyistä enemmän lyijyä. 1930 - 1950 -luvun tilanteen ominaiskuormitusarvoista ei vastaavasti ole juurikaan mittaustuloksia muiden kuin peltojen fosforikuormituksen osalta. Tämä saattaa aiheuttaa kuormitusmuutoksia koskeviin laskelmiin epävarmuutta.

Taajama-alueilla hulevesien kautta syntyvä hajakuormitus on toistaiseksi saanut muiden kuormittajien rinnalla melko vähän huomiota. Vasta aivan viime vuosina on vesiensuojelun toimenpiteissä otettu huomioon myös hulevesien aiheuttaman kuormituksen vähentäminen (Vesiensuojelun toimenpideohjelma vuoteen 2005 2000). Taajamien hulevesistä aiheutuvaa kuormitusta ja siihen liittyvää ympäristöriskiä koskeva tutkimustieto on kuitenkin vielä hyvin puutteellista. Tämän tutkimuksen ominaiskuormitukseen perustuvat arviot osoittavat, että vesistökuormitus saattaa olla hyvin suurta. Tämän toteamiseen tarvitaan kuitenkin jatkuviin mittauksiin perustuvia tutkimustuloksia.

Maankäytön muutos ja kaupunkirakenteen tiivistyminen ovat keskittäneet haitallisten aineiden päästöt pienelle alueelle verrattuna tilanteeseen, jossa maankäyttö olisi hajanaisempaa. Vesistövaikutukset ovat siten taajama-alueiden puroissa melko voimakkaita. Toisaalta laajoilla alueilla taajamien ulkopuolella kaupunkirakentamisen vaikutus vesistöihin on hyvin pieni. Taajama-alueilla vesistökuormitusta on myös mahdollista vähentää keskitetysti huleveden käsittelymenetelmillä kuten imeytysaltailla ja -kaistoilla, lammikoilla, kosteikoilla sekä hiekkasuodattimilla.

5.3 Uomaston muutokset

Luonnonuomasto on kaupunkirakentamisen myötä lyhentynyt suurimmalla osalla valuma-alueista. Toisaalta hulevesiviemäriverkoston laajeneminen on kasvattanut uomaston kokonaispituuden moninkertaiseksi. Tällä on valuntaa nopeuttava ja erityisesti hyvin vettä läpäisevän maaperän alueella pintavalunnan määrää kasvattava vaikutus.

Uomaston muokkauksen mahdolliset vaikutukset liittyvät lähinnä uomamorfologiaan ja ekologisiin muutoksiin. Davenport et al. (2001) ovat havainneet, että uoman muokkausasteella on selkeä yhteys virtaukseen ja habitaattityyppien määrään. Voimakkaasti muokatuissa uomissa eliöstön elinolosuhteet ovat yksipuoliset ja uoman muutoksilla voi olla ratkaiseva merkitys mm. purojen kalastolle. Luonnontilaisten uomien pituus on nykyään pieni, ja suurimman osan uomastosta muodostavat hieman muokatut uomat. Voimakkaasti muokatut uoman osuudet, joissa ekologiset vaikutukset ovat suurimmat, muodostuvat kuitenkin useimmiten melko lyhyistä jaksoista. Purojen sijoittaminen putkeen on viime aikoina nostattanut keskustelua. Tästä on esimerkkinä mm. Monikonpuron joh-

taminen putkeen Leppävaaran liikekeskuksen kohdalla (kuva 10). Puron kohtalosta oli ennen rakentamista voimakasta kiistelyä (HS 1999a, HS 1999b, HS 2000) ja putkituksen pelättiin uhkaavan taimenen tulevaisuutta purossa. Taimenien lopullista kohtaloa ei tiedetä, mutta kesällä 2002, noin vuosi putken rakentamisen jälkeen, taimenien havaittiin edelleen viihtyvän Monikonpurossa (Tuominen-Halomo 2002). Monikonpurossa putkitetut ja kanavoidut osuudet ovat melko lyhyitä. Joutjoessa sen sijaan uoman muokkaus on ollut voimakasta usean kilometrin matkalla, joten toimenpiteiden ekologiset vaikutukset saattavat olla huomattavia. Tutkimustuloksia tästä ei kuitenkaan ole. Voimakas uomien muokkaus liittyy valuma-alueilla lähes poikkeuksetta teollisuusalueisiin ja liikekeskuksiin sekä hyvin tiiviisiin kerrostaloalueisiin.



Kuva 10. Monikonpuron latvaosissa on vielä luonnontilaisia monimuotoisia uoman osuuksia. Alajuoksullaan Monikonpuro on johdettu maan alle ja syviin avokuiluihin liikekeskuksen kohdalla. Kuvat Paula Kuusisto.

6 Johtopäätökset

Tutkittujen valuma-alueiden maankäyttö on muuttunut päällystetyn pinnan määrän perusteella niin paljon, että purojen tila on todennäköisesti muuttunut kaupungistumista edeltävään aikaan verrattuna. Tässä vaiheessa vesistö- ja kaupunkisuunnittelussa on tärkeää panostaa hulevesien käsittelyyn jo rakennetuilla alueilla ja pyrkiä siten säilyttämään purojen veden laatu ja ekologinen monimuotoisuus. Nykyisellä maankäytöllä se on vielä mahdollista, mutta rakennettujen alueiden kasvaessa saattaa ekologinen monimuotoisuus olla uhattuna erilaisista hulevedenkäsittelymenetelmistä huolimatta. Valuma-alueiden maankäyttö ei kuitenkaan lähitulevaisuudessa muuttune merkittävästi. Päällystettyjen pintojen määrä kasvaa näillä näkymin hitaasti, kun rakentamista tiivistetään. Eniten rakentamiskelpoista maata ja rakentamispainetta omaavalla Monikonpuron valuma-alueella kaupunkirakentamisen tulevat vaikutukset saattavat olla suurimmat. Tämäkin tosin riippuu pitkälti tulevista yleiskaava- ja joukkoliikennetkaisuista. Tutkittujen valuma-alueiden päällystetyn pinnan määrät eivät nousseet hälyttävän suuriksi (< 25%), mutta mikäli kaupunkisuunnittelussa edetään tiiviimmän kaupunkirakenteen suosimiseen, saattavat vesistövaikutukset kasvaa. Kaavoituksella voidaan yksittäisiä uomanosuuksia suojella, mutta valuma-alueen kokonaisvaltainen hallinta on usein vaikeampaa. Vesistövaikutusten kannalta oleellista on uoman välittömän lähiympäristön ohella koko valuma-alueen maankäyttö.

Käytännön suunnittelussa voidaan vesistöt ottaa huomioon jättämällä taajama-alueelle mahdollisimman paljon kasvipeitteisiä alueita sade- ja lumensulamisveden imeytymistä varten. Erilaisilla huleveden käsittelymenetelmillä voidaan ehkäistä taajama-alueilla syntyvien ongelmien siirtymistä alapuolisiin vesistöihin. Suomen olosuhteisiin soveltuvien käsittelymenetelmien selvittäminen onkin taajamavesien laadun hallinnan edellytys.

Kaupungistumisen ekologisia vaikutuksia vesistöissä on tutkittu viime aikoina ulkomailla melko paljon, joskin edelleen vähemmän kuin kemiallisia vaikutuksia. Eri eliöryhmien, kuten kalojen ja selkärangattomien on todettu reagoivan kaupungistumiseen, mutta tähän johtavista tekijöistä ei ole suoraa tutkimustietoa. Suomessa ei vastaavaa tutkimusta ole juurikaan tehty. Purojen ekologiset vaikutukset ovat kuitenkin erityisesti EU:n vesipuitedirektiivin myötä entistä tärkeämmässä osassa purojen tilan arvioinnissa. Veden laatuakin tulisi direktiivin mukaan arvioida sen ekologisten vaikutusten pohjalta.

Taajama-alueilla purojen uomasto vain harvoin pysyy täysin luonnontilaisena. Kaikkein voimakkaimpia muutokset ovat hyvin tiiviisti rakennetuilla kerrostalo- ja teollisuusalueilla. Näillä alueilla purot johdetaan melko usein keino-tekoiseen kanavaan tai putkeen. Muokkausten ekologisista vaikutuksista ei ole vielä tarpeeksi tutkimustietoa. Purojen maisemallinen ja virkistyskäytöllinen arvo tukisivat kuitenkin purojen säilyttämistä avoimina myös taajamaympäristössä.

Luonnonmukaisten hulevedenkäsittelymenetelmien ja aluesuunnittelun keinoin kohti parempaa taajamahydrologiaa

Hannele Ahponen

hahponen@cc.hut.fi

Teknillinen korkeakoulu, Vesitalouden ja vesirakennuksen laboratorio

I Johdanto

Kaupunkialueilla on suuri vaikutus ympäristönsä vesitalouteen. Kaupunkialueiden veden laatu ja määrä poikkeavat suuresti luonnontilaisten alueiden olosuhteista. Läpäisemättömät pinnat estävät veden imeytymisen maaperään, mikä vähentää kaupunkialueiden kasvien käytettävissä olevan veden määrää sekä maa- ja pohjaveden muodostumista. Rakennetuilla alueilla pintavaluntaa kutsutaan hulevedeksi. Hulevesi kerää itseensä kaduilta ja muilta kaupunkialueen pinnoilta kiintoainetta, ravinteita ja myrkyllisiä aineita kuten raskasmetalleja. Nämä haitta-aineet joutuvat suoraan vesistöihin sadevesiviemäreitä pitkin johdettavan huleveden mukana. Kaupunkialueita kaavoitettaessa unohdetaan usein vesitalous kokonaan. Arvokkaille veden imeytymisalueille kuten harjuille ja vesien kerääntymisalueille rakennettaessa vaikutetaan haitallisesti vesitalouteen ja sitä kautta tulevan asuinalueen luonnonolosuhteisiin. Maa- ja pohjavesivarastojen pieneneminen ja vesistöjen likaantuminen aiheuttavat yhä kasvavia ongelmia kaupunkien asukkaille.

2 Vesitalouden huomioon ottaminen yhdyskuntasuunnittelussa

Yhdyskuntasuunnittelun osalta on tärkeää tehdä suunnittelun kohdealueen luonnonolosuhteiden kartoitus, johon kuuluu tärkeänä osana myös pohja- ja pintavesiolosuhteiden tutkiminen. Kartoitettavat tekijät ovat topografia, geologia ja geohydrologia, sadanta, pintavedet ja virtausolosuhteet sekä kasvillisuus. Kartoituksen avulla saatu tieto tulee esittää esimerkiksi karttojen avulla siten, että tieto voidaan helposti yhdistää itse alueen suunnitteluprosessiin. (Seutusunnittelun keskusliitto 1986)

Panun (1998) mukaan vesitalouden huomioon ottavassa aluesuunnittelussa kohdealuetta tarkastellaan valuma-alueen mittakaavassa. Valuma-alueelta erotetaan erilaiset vyöhykkeet; vesitalouden kannalta herkat imeytymisvyöhykkeet ja kerääntymisvyöhykkeet sekä näiden väliin jäävät rinnealueet, joille rakentaminen aiheuttaa vähiten haittaa vesitalouden ja muiden luonnonolosuhteiden kannalta. Jokainen kaavoitettava kohdealue on kuitenkin käsiteltävä omana kokonaisuutenaan, eikä kaikille alueille välttämättä voida soveltaa valuma-alueen jakoa suoraviivaisesti. Kohdealueiden sisäiset rajoittavat tekijät kuten mahdollinen olemassa oleva yhdyskuntarakenne tai erityisesti suojeltavat maasto-kohteet on aina otettava tapauskohtaisesti huomioon.

Kaupunkialueiden kaavoituksessa voidaan tonttikokoja pienentämällä tiivistää asuinalueen rakennetta, mutta samalla jättää enemmän luonnontilaisia

alueita asuinalueiden sisälle. Luonnontilaiset alueet toimivat huleveden imeytysalueina ja muodostavat osan viheralueverkostoa, joka sitoo asuinalueet ympäröivään luontoon. Tonteilta vapaata tilaa voidaan käyttää hyväksi myös hulevedenkäsittelyrakenteiden kuten viivytyksaltaiden ja kosteikkojen sijoittamiseen. Rakentamiselta vapaat alueet ovat myös puskurivyöhykkeitä, jotka suojelevat vesistöjä suoralta hulevesikuormitukselta. (Schueler 1995)

Piha-alueet tulisi suunnitella siten, että läpäisemätöntä pintaa on mahdollisimman vähän. Luonnolliset pinnanmuodot on tärkeää säilyttää mahdollisimman pitkälle, jotta sadevesi voidaan johtaa luonnollisia painanteita ja oja pitkin tonteilta niitä ympäröiville alueille. Jos osa tontista on päällystettyä, tulisi tältä alueelta valuvat vedet pystyä imeyttämään tai muuten käsittelemään tontin alavammilla osilla. (Dreher ja Price 1992) Päällystettyä pintaa voidaan vähentää myös mm. rakentamalla kapeampia teitä asuinalueiden sisälle, suosimalla vuoropysäköintiä pysäköintialueilla sekä käyttämällä vettä läpäiseviä päällystämateriaaleja. Läpäisevät päällystämateriaalit soveltuvat hyvin pysäköintialueille sekä hidasti liikenteisille kaduille, joilla päällysteeseen kohdistuva kulutus ei ole suurta. (Schueler 1995)

3 Luonnonmukainen hulevedenkäsittely

Luonnonmukaiset hulevedenkäsittelymenetelmät voidaan jakaa huleveden johtamis-, imeyttämisen- ja viivyttämismenetelmiin sekä kosteikkokäsittelyyn. Luonnonmukaisissa hulevedenkäsittelymenetelmissä käytetään hyväksi luonnon omia prosesseja. Hulevesi pääsee kosketuksiin maan, ilman, kasvillisuuden ja mikro-organismien kanssa. Tavoitteena on parantaa huleveden laatua, jotta vesistöihin lopulta päätyvä hulevesi olisi laadultaan mahdollisimman lähellä luonnon vettä. Huleveden virtaamahuippuja pyritään pienentämään viivyttämällä ja varastomalla hulevettä. Suoraan vesistöihin joutuvan huleveden määrää pyritään vähentämään imeyttämällä hulevettä maahan. Luonnonmukaisten hulevedenkäsittelymenetelmien avulla ylläpidetään sekä pohja- että pintavesivarastoja ja maan kosteustasapainoa. Luonnonmukaisten hulevedenkäsittelymenetelmien avulla voidaan myös luoda ekologisempaa ja viihtyisämpää asuinympäristöä, sillä luonnonmukaisessa hulevedenkäsittelyssä vesi tuodaan näkyviin ja kosketuksiin muun ympäristön kanssa. (Lönngren, 2001).

Kaikissa hulevedenkäsittelymenetelmissä yhdistyy useampia hulevedenkäsittelyn tavoitteita. Taulukossa 1 on esitetty luonnonmukaisten hulevedenkäsittelymenetelmien vaikutukset huleveden laatuun ja määrään.

Taulukko 1. Luonnonmukaisten hulevedenkäsittelymenetelmien vaikutustavat.

Huleveden käsittelymenetelmä / vaikutus*		A	B	C	D	E	F
Johtaminen	Kasvillisuus-painanteet	X	X	X	X	X	X
Imeyttämis-menetelmät	Imeytyspinnat / vihreät pinnat	X	X	X		X	X
	Imeytysaltaat	X	X	X	X	X	X
	Maanalainen imeytysrakenne	X	X	X		X	X
	Yhdistetty imeytysallas ja -oja	X	X	X	X	X	X
	Läpäisevät päällysteet	X	X	X		X	X
Viivyttäminen	Viivytytsaltaat		X	X	X		X
Kosteikko-käsittely	Kosteikot		X	X	X		X

*Huleveden käsittelymenetelmien vaikutustavat: A: Maa- ja pohjavesivarastojen ylläpitäminen, B: Virtaamahuippujen pienentäminen, C: Viipymän lisääminen, D: Kiintoaineen laskeuttaminen, E: Puhdistaminen suo-

3.1 Huleveden johtaminen

Huleveden johtamisella tarkoitetaan sitä, että hulevesi johdetaan perinteisten sadevesiviemäreiden ja putkiojen sijasta kasvillisuuden peittämällä painanteilla tai ojilla tonteilta ja katualueilta vastaanottavaan vesistöön. Kun hulevesi kulkee kasvillisuuden peittämässä painanteessa, sen viipymä lisääntyy ja virtaamahui-put pienenevät. Jos veden virtausnopeus on tarpeeksi pieni, voivat painanteet myös suodattaa kasvillisuuden avulla hulevedestä kiintoainetta sekä siihen kiinnittyneitä aineita ja osa hulevedestä imeytyy maaperään. Painanteiden avulla hulevedestä poistuu ravinteita ja muita epäpuhtauksia jonkin verran myös kasvien ja maaperän mikrobiologisen toiminnan vaikutuksesta. (Ferguson 1998)

Fergusonin (1998) mukaan kasvillisuuspainanteen on oltava tarpeeksi pitkä, jotta sillä olisi vaikutusta myös veden laatuun. Virtausta voidaan hidastaa ja veden viipymää lisätä rakentamalla hidastus- ja imeytysaltaita painanteen yhteyteen. Tiheä kasvillisuus ja uoman poikkileikkauksen epäsäännöllinen muoto pienentävät veden virtausnopeutta ja lisäävät veden viipymää. Virtausnopeuden hidastuessa painanteen eroosioriski pienenee. Kasvillisuus painanteen reunoilla vähentää eroosiota sitomalla maata juurillaan. Painanteet voidaan rakentaa osaksi puro- ja jokikäytäväverkostoa, jolloin ne toimivat yhdysväylinä liittäen hulevedet luonnonmukaisella tavalla vastaanottavaan vesistöön.

3.2 Imeytysmenetelmät

Imeyttämällä hulevesi pyritään saamaan kosketuksiin maan kanssa pidättäen sitä esimerkiksi imeytysaltaassa, josta hulevesi imeytyy maahan ja osa vedestä mahdollisesti myös pohjaveteen saakka. Huleveden laatu paranee kun vesi suo-

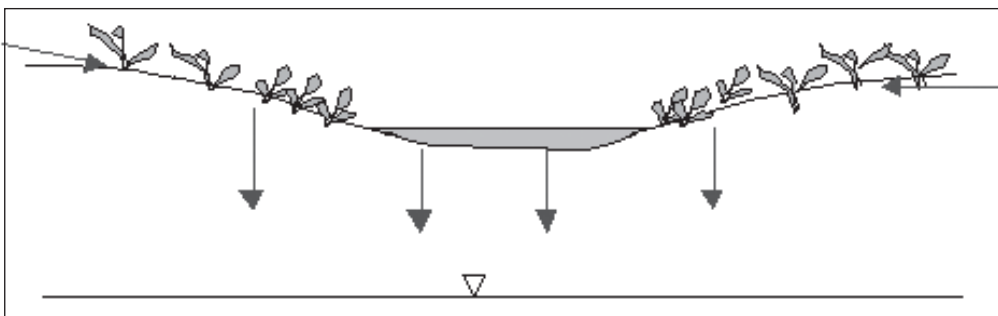
dattuu maakerrosten läpi. Jos maa sisältää savea tai humusta, on maaperän kyky pidättää haitallisia aineita ja ravinteita vedestä suurempi kuin vähäsavisen ja -humuksisen maaperän. Savimineraaleilla, saviperäisissä maissa esiintyvillä alumiini- ja rautaoksidoilla sekä humuksella on taipumus sitoa kationinvaihtomekanismilla vedestä mm. metalleja ja ravinteita. Imeyttämällä myös lisätään huleveden viipymää, pienennetään tulvahuippuja ja ylläpidetään pohjavesivarastoja. (Ferguson 1998)

3.2.1 Imeytyspinnat / vihreät pinnat

Yksinkertaisin tapa imeyttää vettä on johtaa se nurmikon peittämälle pinnalle, josta vesi imeytyy maaperään. Vesi virtaa hiljalleen loivasti kaltevan, kasvillisuuden peittämän pinnan yli ja imeytyy lopulta maahan. Virratessaan kasvillisuuden peittämän pinnan yli vedestä pidättyy kiintoainetta kasveihin ja maaperän mikrobit toiminta vaikuttaa puhdistavasti huleveteen. (Larm et al. 1999)

3.2.2 Imeytysallas

Imeytysallas on matala, maan pinnalla oleva syvennys tai painanne, johon sadevesi johdetaan. (kuva 1) Vesi varastoituu imeytysaltaaseen kunnes imeytyy maahan ja samalla vedestä suodattuu kiintoainetta maaperään. Altaassa oleva kasvillisuus pitää maan huokoisena ja hyvin vettä läpäisevänä. Kasvillisuus saattaa myös pidättää hulevedestä ravinteita. Königin (1996) mukaan sopiva syvyys imeytysaltaalle on noin 20-30 cm riippuen maaperän vedenjohtavuudesta ja sademäärästä. Imeytysaltaita voidaan rakentaa useampia peräkkäin hieman kaltevalle maalle, jolloin edellisen altaan ylivuotovesi virtaa seuraavaan alemmalla tasolla olevaan altaaseen. Myös maastossa olevat luonnolliset kasvillisuuden peittämät, imeyttämiseen maaperältään soveltuvat painanteet voidaan säilyttää ja hyödyntää niiden kykyä imeyttää hulevettä.



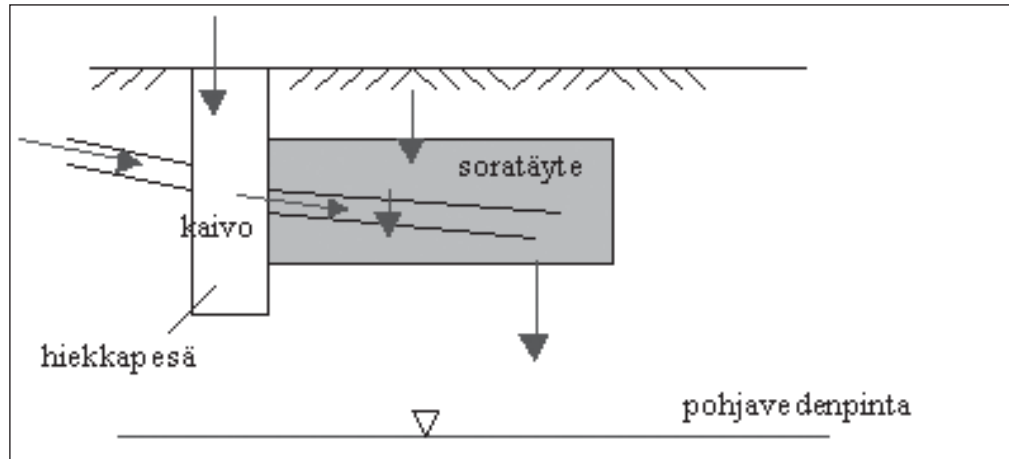
Kuva 1. Maanpäällinen imeytysallas.

3.2.3 Vihreät katot

Kasvillisuuden peittämän katon avulla voidaan katoille satavat vedet imeyttää heti ja niiden myöhempää käsittelyä kuten johtamista viherpinnoille maassa ei enää tarvita. Vihreä katto koostuu vedenpitävästä kerroksesta, vettä johtavasta kerroksesta sekä irtonaisesta maakerroksesta tai kasvimatosta, jolle sopivia lajeja ovat mm. maassa kasvavat sammallajit sekä esimerkiksi maksaruohot. (Larm et al. 1999) Vihreät katot soveltuvatkin hyvin tiheästi rakennetuille alueille, joilla ei ole tilaa maahan sijoitettaville käsittelymenetelmille. Suomen luonnonolosuhteissa, joissa sateita saadaan melko usein ja tasaisesti ympäri vuoden, on otettava huomioon vihreiden kattojen rajallinen veden varastointikyky.

3.2.4 Maanalainen imeytysrakenne

Imeytysallas tai -rakenne voidaan sijoittaa maan alle, jos maan pinnalla ei ole tilaa tai maan pintakerros on huonosti vettä läpäisevää. Maanalainen imeytysrakenne on maahan tehty kaivanto, joka on täytetty hiekalla, soralla tai muulla karkealla materiaalilla. Päällimmäisenä on kerros pintamaata, esimerkiksi multaa tai kari-ketta. (Bingman 1983) (kuva 2) Vesi johdetaan maanalaiseen imeytysrakentee-seen joko läpäisevän päällysteen tai muun hyvin vettä läpäisevän pinnan tai sadevesikaivojen kautta. Vesi suodattuu läpäisevän täytteen läpi ja jatkaa sen jälkeen imeytymistä ympäröivään maaperään. Kun rakenteeseen lisätään rei'itetty putki tehostamaan veden jakautumista maaperään, puhutaan imeytyssojista. (Fer-guson 1998)



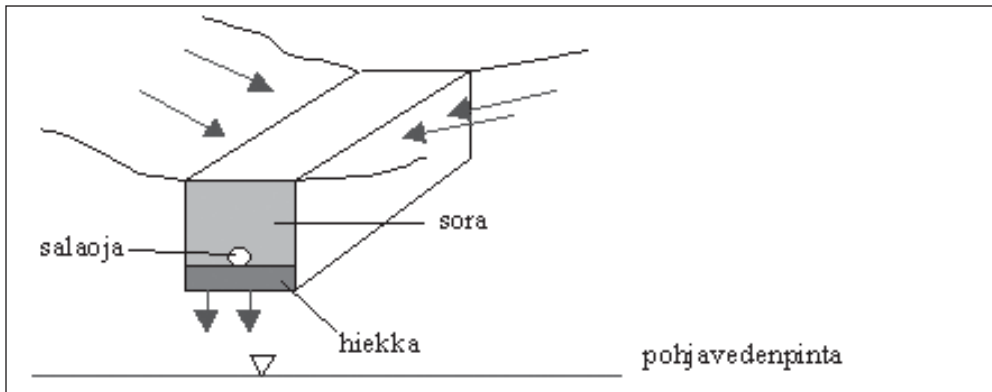
Kuva 2. Maanalainen imeytysrakenne (perustuu Larm et al. 1999).

3.2.5 Yhdistetty imeytysallas ja imeytysoja

Maanpäälliset imeytysaltaat ja maanalaiset imeytysojat voidaan yhdistää, jolloin imeytysaltaiden puhdistusvaikutus ja imeytysojan varastointi- ja imeytysomi-naisuudet yhdistyvät. Kuvassa 3 on rakennekuva yhdistetystä imeytysaltaasta ja imeytysojasta. Vesi imeytyy altaasta maanpinnan alapuolella sijaitsevaan soralla tai karkealla hiekalla täytettyyn kaivantoon, josta se imeytyy maaperään. Kaivannon alaosassa oleva salaojaputki johtaa veden altaan täyttyessä ylivuoto-kaivoon. Yhdistelmä rakenteita voidaan sijoittaa useita peräkkäin, jolloin muo-dostuu yhtenäinen sadevesien imeyttämislinja. Rakenteella voidaan osittain tai kokonaan korvata perinteinen sadevesiviemärinti. Jos imeytysrakenne sijait-see esimerkiksi kadun varrella, jolloin hulevesi usein on erityisen likaista, voi-daan imeytyskaivannon ympärille sijoittaa suodatinkangas. Suodatinkangas edesauttaa likaantuneen kiintoaineen pidättymistä ja ehkäisee kiintoaineen jou-tumisen pohjaveteen sekä ympäröivän maan tunkeutumisen imeytysrakentee-seen. Maan pinnalta katsottuna kuivatusjärjestelmä muodostuu kasvillisuuden peittämistä painanteista ja ajoittain vettä täynnä olevista lammikoista ja on siten esteettisestikin parempi vaihtoehto perinteiselle sadevesiviemärillem. (König 1996)

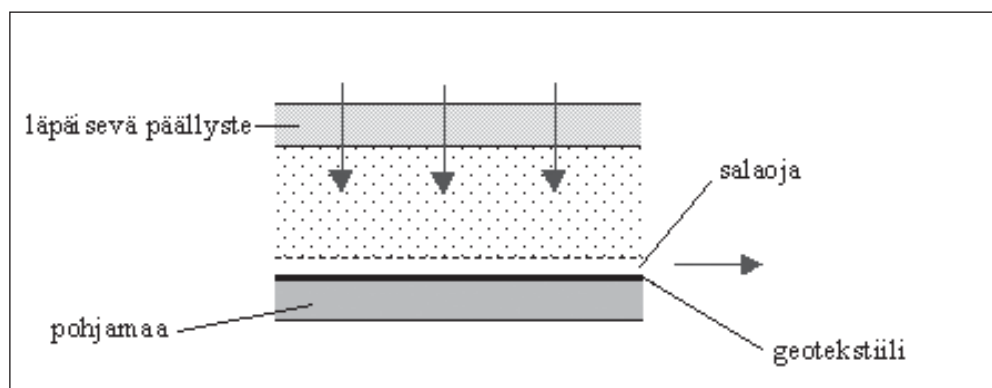
3.2.6 Läpäisevät päällysteet

Läpäiseväksi päällystemateriaaliksi kutsutaan päällystettä, joka läpäisee vettä koostumuksensa ansiosta. Vesi suodattuu päällysteen läpi sen alla olevaan sora-kerrokseen ja kiintoaine jää tähän suodattimena toimivaan kerrokseen. Soraker-roksen alle voidaan asettaa putki, jota myöten hulevedet voidaan johtaa eteen-päin, esimerkiksi jatkokäsittelyyn. Läpäisevä päällyste voidaan rakentaa myös erimuotoisista ja kokoisista betonilaatoista, joiden väliin jää läpäisemätöntä pin-taa. (Larm et al. 1999)



Kuva 3. Yhdistetty imeytysallas ja imeytysoja (perustuu Larm et al. 1999).

Läpäisevät päällystemateriaalit sopivat erityisesti pysäköintialueille ja hidasliikenteisille kaduille, joilla nopea liikenne ei vaadi tiivistä asfalttipintaa. Pysäköintialueiden alle voidaan likaisten hulevesien puhdistumisen tehostamiseksi asettaa suodatinkangas. Suodatinkangas pidättää kiintoainetta ja siihen kiinnittyneitä aineita kuten ravinteita ja puhdistunut hulevesi suotautuu kankaan läpi maaperään. Läpäisevän päällystemateriaalin reiät voidaan täyttää mullalla ja istuttaa niihin nurmea, mikä tehostaa huleveden laadun paranemista ja luo viihtyisyyttä pysäköintialueelle. (Schueler 1995) Kuvassa 4 on esimerkki läpäisevästä päällysteestä ja siihen liittyvistä rakenteista.



Kuva 4. Läpäisevä päällysterakenne (perustuu Larm et al. 1999).

3.3 Huleveden viivyttäminen

Viivyttämällä tarkoitetaan huleveden varastoitumista viivytysaltaaseen, jolloin virtaamahuiput pienenevät ja huleveden viipymä kasvaa. Viivytysaltaista laskeaan joko osa vedestä tai koko vesimäärä pois halutulla nopeudella. Veden laatu paranee kun viivytysaltaissa tapahtuu kiintoaineen laskeutumista altaan pohjalle. Kiintoaineen laskeutuminen riippuu huleveden viipymäajasta altaassa. (Ferguson 1998)

3.3.1 Viivytysaltaat

Huleveden viivyttäminen toteutetaan viivytysaltailla, joihin varastoituvan veden määrä vaihtelee sateiden ja kuivien jaksojen mukaan. Altaan ulosvirtausta säädellään yleensä padon avulla. Viivytysaltaissa voi olla pysyvä vesivarasto tai allas voi tyhjentyä sadetapahtuman jälkeen kokonaan. Vesi pääsee virtaamaan padon alitse ulosvirtauskanavaa myöten. Viivytysallasta, jossa on pysyvä vesivarasto, voidaan käyttää tyhjentävää allasta paremmin myös virkistyskäyttöön

ja se on esteettisesti kauniimpi kuin osan aikaa kuivana oleva allas. Altaan muoto riippuu pitkälti siitä, kuinka paljon tilaa on tarjolla. Jos tilaa on riittävästi altaasta voidaan muotoilla pinta-alaltaan laaja ja syvyydeltään matala. Tällöin allas on helpompi yhdistää ympäröivään maisemaan, jolloin on mahdollista luoda laaja kosteikkomainen ympäristö altaan avulla (Ferguson 1998)

Fergusonin (1998) mukaan viivytyksaltaat mitoitetaan usein toistuvan, suhteellisen pienen sateen mukaan. Usein toistuvat pienet sateet ja niiden aiheuttaman hulevesivirtaaman mukana tuleva ainekuormitus vaikuttavat veden laatuun enemmän kuin harvoin sattuvat suuret sadetapahtumat. Jos altaat mitoitettaisiin tilastollisesti suurimman sadetapahtuman mukaan, ne jouduttaisiin mitoittamaan suhteettoman suuriksi. Veden on viivyttävä tietty aika altaassa halutun puhdistustuloksen saavuttamiseksi. Periaatteena on se, että viipymän tulee olla vähintään yhtä suuri kuin partikkeleiden laskeutumisaika altaan pohjalle.

Viivytyksallas, jossa on väliaikainen vesivarasto tyhjentyä sateen jälkeen eikä sisällä vettä sateiden välillä. Väliaikaisen vesivaraston omaavissa viivytyksaltaissa sateen alkaessa altaan vesimäärä on pieni. Tästä johtuen veden viipymä altaassa on lyhyt. Ainoastaan karkea sedimentti ehtii laskeutua, koska vesi viipyy vain vähän aikaa altaassa. Kuitenkin sateen aiheuttaman ensimmäisen valuntapiikin aikana hulevesi sisältää paljon haitta-aineita, jolloin tarvittaisiin pitkä viipymä huleveden puhdistamiseksi. Tulovirtaama saattaa altaan täytyessä huuhtoa pohjalle vajonnutta likaista sedimenttiä uudelleen ylös. Viivytyksallas, jossa on pysyvä vesivarasto, on tehokkaampi hulevesien laadun parantamisessa verrattuna altaaseen, joka on ajoittain kuiva. Tulovirtaama ei huuhto pohjalta sedimenttiä kuten kuivassa altaassa ja viipymä on pidempi, koska altaassa on aina vettä. Pidemmän viipymän ansiosta partikkeleiden laskeutuminen jatkuu vielä sateen jälkeenkin ja mahdollisesti myös mikrobiologinen toiminta ehtii alkaa tehostaen veden laadun paranemista. (Ferguson 1998)

3.4 Kosteikko

Luonnontilainen kosteikko on alue, joka ainakin ajoittain on veden peittämä joko kokonaan tai osittain. Veden peittämä alue on yleensä matala ja pohjavedenpinta on lähellä maanpintaa. Kosteikkoalueilla kasvaa kosteille paikoille ominaisia kasveja, mahdollisesti myös pensaita ja puita. Sekä luonnontilaisia että keinotekoisesti rakennettuja kosteikkoja on käytetty sekä peltoalueiden valumavesien että taajama-alueiden hulevesien käsittelyyn. Monesti keinotekoisesti tehtyjen kosteikkojen ja pysyvän vesivaraston omaavien viivytyksaltaiden ero onkin melko liukuva, varsinkin jos viivytyksaltaissa on runsaasti kasvillisuutta. Kuitenkin kosteikoksi kutsutaan yleensä aluetta, jossa on "umpeenkasvaneita" kasvillisuusalueita. (Lundberg ja Lindmark 1994)

Kosteikkojen toiminnassa yhdistyvät virtaamahuippujen pienentyminen, huleveden viipymän lisääntyminen ja kiintoaineen laskeutuminen, sekä huleveden puhdistuminen mikrobiologisesti. Kuten viivytyksaltaissakin, kiintoaineen laskeutuminen on sitä tehokkaampaa, mitä pidempi on viipymä ja mitä suurempi hiukkasten massa on suhteessa hiukkasten tilavuuteen eli mitä tiheämpiä maahiukkaset ovat. Kosteikoissa kiintoaineen laskeutumista tehostavat kasvit, joihin kiintoainehiukkaset jäävät kiinni ja laskeutuvat pohjalle muodostettuaan suurempia hiukkasia kasvien pinnoilla. Kasvit myös tehostavat virtausnopeuden hidastumista ja siten myös sedimentaatiota. Kiintoaineen mukana pidättyvä maahiukkasiin kiinnittyneitä aineita, kuten raskasmetalleja ja osa fosforista. Ammoniumtyyppiä ($\text{NH}_4\text{-N}$) poistuu mikrobitoiminnan vaikutuksesta denitrifikaatio-nitrifikaatio-prosessin kautta. Liukoista fosforia sitoutuu vedessä vapaana oleviin kiintoainehiukkasiin ja laskeutuu niiden mukana pohjasedimenttiin.

Kosteikon kasvit sitovat vedestä liukoista typpeä ja fosforia ravinteeksi. (Puustinen et al. 2000)

3.5 Luonnonmukaisten hulevedenkäsittelymenetelmien yhdistäminen

Kahden tai useamman hulevedenkäsittelymenetelmän avulla voidaan yhdistää kunkin menetelmän hyvät puolet ja tehdä hulevedenkäsittelystä tehokkaampaa. Esimerkiksi kasvillisuuspainanteilla voidaan poistaa osa huleveden sisältämästä kiintoaineesta, minkä jälkeen kosteikkokäsittelyllä voidaan jatkaa kiintoaineen poistoa ja lisäksi poistaa ravinteita.

Lundbergin ja Lindmarkin (1994) mukaan huleveden johtamista kasvillisuuspainanteita myöten suositellaan käytettäväksi "esikäsittelymenetelmänä" muille menetelmille, jos se on mahdollista. Hulevesien johtaminen kasvillisuuspainanteita myöten voi toimia myös kahden eri menetelmän "yhdyssä". Viivytysaltaita käytetään usein kosteikkojen tai imeytysaltaiden edellä, jolloin ne toimivat esilaskeutusaltaina, joissa saadaan suurimmat kiintoainepartikkelit poistettua hulevedestä. Kosteikkokäsittelyä ei kuitenkaan suositella käytettäväksi ennen imeyttämismenetelmiä. Kosteikon ja viivytysaltaiden pohjalta saatava lähtö kulkeutumaan laskeutunutta sedimenttiä imeytysrakenteeseen, mikä haittaa imeytysrakenteen toimintaa ja vähentää sen puhdistustehoa. Kosteikat tai kosteikkojen ja viivytysaltaiden yhdistelmät toimivatkin yleensä parhaiten viimeisenä lenkinä ketjussa, kun hulevedenkäsittelymenetelmiä yhdistellään.

3.6 Kooste hulevedenkäsittelymenetelmistä

Taulukoihin 2 - 5 on koottu tärkeimpiä tietoja hulevedenkäsittelymenetelmistä. Taulukoihin on koottu jokaisen tärkeimmän menetelmän osalta vaikutustavat huleveteen, muotoiluun ja mitoituslaitteisiin liittyviä suosituksia, tietoja talviolosuhteiden vaikutuksesta menetelmien toimintaan, huoltotoimenpiteitä sekä sovel-

Taulukko 2. Kasvillisuuspainanteet.

KASVILLISUUSPAINANTEET	
Vaikutus huleveden laatuun ja määrään	<ul style="list-style-type: none"> - Jonkin verran imeytymistä maaperään - Virtaamahuiput pienenevät - Viipymä lisääntyy - Kiintoainetta suodattuu ja laskeutuu - Hulevesi puhdistuu mikrobiologisen toiminnan vaikutuksesta
Muotoilu	<ul style="list-style-type: none"> - Uoman poikkileikkauksen epätasainen muoto lisää viipymää ja vähentää eroosiota, parabolinen tai trapetsoidinen muoto parempia kuin v-muoto - Hidastusaltat painanteen yhteydessä tehostavat puhdistusvaikutusta
Mitoitus	<ul style="list-style-type: none"> - Tarpeeksi pitkä painanne (>60m) (Vägverket 1998) - Pituuskaltevuus 0,2-1 %, luiskan kaltevuus [1:4 -1:5 (Urban Drainage and Flood Control District 1999, Vägverket 1999, SEPA 1995) - Pohjan leveys 0,5-3,0 m (Vägverket 1998) - Syvyys < 0,1 m (Vägverket 1998)
Talviolosuhteiden vaikutus toimintaan	<ul style="list-style-type: none"> - Mikrobiologinen puhdistustoiminta ja kiintoaineen pidäytyminen vähenevät - Imeytyminen maaperään vähenee maan jäätyessä
Huoltotoimenpiteet	<ul style="list-style-type: none"> - Painanteen pohjalle kerääntyvän lietteen ja roskien poisto säännöllisesti, erityisesti keväällä sulamiskauden jälkeen
Sovellukset /sovelluskohteet	<ul style="list-style-type: none"> - Teiden varsilla putkiojien sijasta - Tonteilla kattovesien johtamiseen - Yhdysväylänä muiden luonnonmukaisten hulevedenkäsittelymenetelmien välillä

Taulukko 3. Imeytysmenetelmät.

IMEYTYSMENETELMÄT	
Vaikutus huleveden laatuun ja määrään	<ul style="list-style-type: none"> - Maa- ja pohjavesivarastojen ylläpitäminen - Virtaamahuiput pienenevät - Viipymä lisääntyy - Kiintoainetta suodattuu maaperään - Vesi puhdistuu mikrobiologisen toiminnan vaikutuksesta
Imeytyspinta	
Muotoilu	<ul style="list-style-type: none"> - Jako-oja pinnan alkupäässä edistää huleveden jakaantumista koko pinta-alalle - Pituus >5-25 m (Fransson ja Larm 2000, Nordfeldt 1998)
Mitoituksessa huomioitavaa	<ul style="list-style-type: none"> - Leveys >2,5-3 m (Urban Drainage and Flood Control District 1999, Vägverket 1999) - Kaltevuus 2-5 % (Urban Drainage and Flood Control District 1999) - Valuma-alueen koko <5 ha - Pohjavedenpinta vähintään 0,5 m syvyydellä maanpinnasta (VAV P46 1983)
Maanpäällinen imeytysallas	
Muotoilu	<ul style="list-style-type: none"> - Matalat, loivat reunat
Mitoituksessa huomioitavaa	<ul style="list-style-type: none"> - Syvyys noin 20-30 cm riippuen maaperän vedenläpäisevyydestä - Pinta-ala noin 10 % kattopinta-alasta, jos imeytetään kattovedet
Maanalainen imetyksrakente / imeytysoja	
Muotoilu	<ul style="list-style-type: none"> - Suorakaiteen muotoinen - Mahdollisimman vähän kalteva, imeytysoja mieluiten vaakasuora - Vähintään 1 m pohjavedenpinnan yläpuolella ja routimattomassa kerroksessa
Mitoitus	<ul style="list-style-type: none"> - Tarkastuskaivot n. 50 m välein imeytysojassa - Rakennusten perustusten kuivanapito turvattava
Läpäisevät päällysteet	
	<ul style="list-style-type: none"> - Betonilaatoista tehdyn päällysterakenteen väleihin voidaan istuttaa nurmikkoa - Suodatinkangas esim. parkkipaikan läpäisevän päällysteen alla lisää puhdistustehoa - Sorakerroksen alle asetettua putkea myöten hulevedet voidaan johtaa esim. jatkokäsittelyyn
Kaikki imeytysmenetelmät	
Talviolosuhteiden vaikutus toimintaan	<ul style="list-style-type: none"> - Rouda vähentää imeytymistä maaperään - Jos imeytyminen ei tarpeeksi tehokasta, maaperä voi vettyä johtaen alueen luonnollisten imeytymisominaisuuksien muuttumiseen
Huomioitavaa talviolosuhteissa	<ul style="list-style-type: none"> - Hiekoitushiekka tukkii helposti läpäisevän päällysteen - Lumen auraus saattaa aiheuttaa päällysterakenteen rikkoutumista. - Maanalaiset imetyksrakenteet sijoitettava routarajan alapuolelle - Imetyksrakenteen alla oleva ojitusjärjestelmä edesauttaa maaperän kuivumista ja ehkäisee roudan muodostumista - Imeytyspaineen pohjalla oleva sora- tai hiekkakerros ehkäisee roudan syntymistä
Huoltotoimenpiteet	<ul style="list-style-type: none"> - Tarvittaessa irtonaisten lehtien ja roskien poisto maanpäällisistä imeytyspainanteista - Maa-aineksen vaihto erityisesti hyvin likaisia hulevesiä käsiteltäessä, tarvitaan kuitenkin harvoin - Läpäisevät päällysteet puhdistettava säännöllisesti hiekasta ja roskista
Sovelluskohteet	<ul style="list-style-type: none"> - Alueille, joilla maaperä on hyvin vettä läpäisevää - Valuma-alueen yläosiin, jotka ovat luonnollisia imeytymisalueita; myös muilla alueilla tärkeää imeyttää jonkin verran - Maanpäälliset imetyksaltaat piha- ja puistoalueilla - Maanalaiset imetyksrakenteet teiden varsilla, esim. yhdistettynä normaalia pienemmäksi mitoitettuun sadevesiviemäriverkostoon - Läpäisevät päällysteet hidasliikenteisillä kaduilla sekä parkkipaikoilla

Taulukko 4. Viivytyksen menetelmät.

VIIVYTYSMENETELMÄT	
Vaikutus huleveden laatuun ja määrään	<ul style="list-style-type: none"> - Virtaamahuiput pienenevät - Viipymä lisääntyy - Kiintoaine laskeutuu - Vesi puhdistuu mikrobiologisen toiminnan vaikutuksesta
Muotoilu	<ul style="list-style-type: none"> - Loivat, vaihtelevan muotoiset rannat - Saaret, niemet ja lahdenpohjukat lisäävät viipymää ja tehostavat veden puhdistumista - Ulos- ja sisääntulokohdat syvempiä kuin muu allas – virtaus hidastuu ja kiintoaineen laskeutuminen tehostuu - Pitkänomainen, meandroiva muoto, sisään- ja ulostulokohtia kohti kapeneva - Mielellään kasvillisuusvyöhyke vesisyvyydellä 0,15-0,3 m altaan ympärillä, myös muualla kasvillisuutta (Urban Drainage and Flood Control District 1999)
Mitoituksessa huomioitavaa	<ul style="list-style-type: none"> - Leveys : pituus noin 1 : 2 - Syvyys 1,5-2 m, rannan/luiskan kaltevuus [1:3; pysyvän vedenpinnan yläpuolella 1:4 (Urban Drainage and Flood Control District 1999, WEF ja ASCE 1998, Vägverket 1999, SEPA 1997, Hvitved-Jakobsen et al. 1994, Larm 1994, Persson 1999) - Altaan pinta-ala vähintään 0,015 ha (Fransson ja Larm 2000), suositeltava vähimmäispinta-ala 0,25 ha - Valuma-alueen pinta-ala 10 -100 ha (Lönngren 1995, Schueler 1987)
Talviolosuhteiden vaikutus toimintaan	<ul style="list-style-type: none"> - Jääpeite pienentää altaan varastotilavuutta - Jääpeite estää huleveden pääsyn altaaseen ja kiintoaineen laskeutumisen - Partikkeleiden laskeutumisnopeus hidastuu veden kylmetessä, koska veden viskositeetti pienenee
Huomioitavaa talviolosuhteissa	<ul style="list-style-type: none"> - Altaan tulo- ja menovirtaaman putket tulisi asettaa routarajan alapuolelle - Varastotilavuutta tulisi voida säädellä, jolloin keväällä saadaan sulamisvesille pidempi viipymä
Huoltotoimenpiteet	<ul style="list-style-type: none"> - Pohjasedimentin poisto säännöllisin väliajoin - Rakennusvaiheessa pohjalle kertynyt sedimentti poistettava ennen käyttöönottoa
Sovellukset /sovelluskohteet	<ul style="list-style-type: none"> - Väliaikaisen vesivaraston ja pysyvän vesivaraston omaavat altaat; pysyvä vesivarasto suositeltava - Soveltuvat parhaiten valuma-alueen alaosiin, missä maaperä on huonosti vettä läpäisevää

Taulukko 5. Kosteikot.

KOSTEIKOT	
Vaikutus huleveden laatuun ja määrään	<ul style="list-style-type: none"> - Virtaamahuiput pienenevät - Viipymä lisääntyy - Kiintoaine laskeutuu - Vesi puhdistuu mikrobiologisen toiminnan vaikutuksesta
Muotoilu	<ul style="list-style-type: none"> - Kosteikon tulisi sisältää sekä syvempiä, avoimia allasosia että matalampia, kasvillisuuden peittämiä alueita - Kosteikkoon ei tulisi muodostua kanavia; virtaaman jakaannuttava tasaisesti koko pinta-alalle - Pitkänomainen, sisään- ja ulostulokohtia kohti kapeneva muoto, loivat, vaihtelevan muotoiset rannat, saarekkeet - Rantojen kaltevuus [1:5 - Laskeutusallas ennen kosteikkoa tehostaa puhdistusta, tilavuus 5-10 % kosteikon tilavuudesta
Mitoituksessa huomioitavaa	<ul style="list-style-type: none"> - Pinta-ala noin 1-2 % valuma-alueen pinta-alasta - Syvyys on noin 0,5-0,7 m kuivimpana aikana - Suositeltava viipymä on noin 3-5 vrk - Vapaata vesipintaa n. 40 % pinta-alasta, vedenpinnan yli ulottuvaa kasvillisuutta 60 % pinta-alasta (Urban Drainage and Flood Control District 1999, SEPA 1997) - Valuma-alueen pinta-ala > 4-10 ha (Schueler 1992)
Talviolosuhteiden vaikutus toimintaan	<ul style="list-style-type: none"> - Mikrobitoiminnan vaikutus vähenee heikentäen puhdistustulosta - Jääpeite pienentää altaan varastotilavuutta - Jääpeite estää huleveden pääsyn altaaseen ja kiintoaineen laskeutumisen - Partikkeleiden laskeutumisnopeus hidastuu veden kylmetessä, koska veden viskositeetti pienenee - Varastotilavuuden säätelyllä saadaan aikaan sulamisvesille pidempi viipymä
Huomioitavaa talviolosuhteissa	
Huoltotoimenpiteet	- Kosteikon kasvillisuuden ja pohjasedimentin poisto säännöllisin väliajoin

luksia ja sovelluskohteita. Tiedot on koottu eri lähteistä ja ne antavatkin ainoastaan suosituksenomaisia ohjeita, joita voidaan soveltaa Suomen olosuhteisiin siinä määrin kuin on mahdollista. Sulkeissa olevat viitteet ovat julkaisusta Larm 2000.

4 Ympäristöystävälliset lumenkäsittelymahdollisuudet

Lumen sijoittamiseen tulisi kiinnittää huomiota jo ennen sulamista ja lumen sisältämien haitallisten aineiden kuten raskasmetallien ja PAH-yhdisteiden joutumisesta vesistöihin. Lumenkaatopaikat tulisi valita siten, että ne eivät ole lähellä vesistöjä tai pohjavesialueita. Kaatopaikka-alueen olisi sijaittava tarpeeksi tasaisella ja alavalla paikalla ja maaperän tulisi olla tarpeeksi läpäisevää, jotta sulamisvesi ei virtaisi alueelta pois. Jos kaatopaikalla on kasvillisuutta ja lumi sisältää liukkaudentorjuntaan käytettyä suolaa, on hyvä suosia suolaa hyvin kestäviä lajeja. Lumenkaatopaikat tulisi siivota lumen mukana kulkeutuneista roskista joka kevät lumen sulettua. (Oberts 1994a)

Lumen sulamisvesi voidaan johtaa kasvillisuuspainanteita myöten kasvillisuuden peittämälle pinnalle, jolloin haitalliset aineet pidätyvät ainakin jossain määrin kasvillisuuteen. Samalla osa sulamisvedestä imeytyy maahan. Kasvillisuuspinnalle johtamista ei kuitenkaan suositella, jos lumi on peräisin alueelta, jolta siihen todennäköisesti joutuu suuria pitoisuuksia haitallisia aineita. (Oberts 1994b)

Lumen sulamisvesien pidättämiseen voidaan käyttää erityisesti talviolosuhteisiin kehitettyjä viivytyksaltaita. Lumen käsittelyyn tarkoitetut altaat ovat peruseräatteenaltaan samankaltaisia kuin sadeveden pidättämiseen tarkoitetut altaat.

Erityisesti lumen käsittelyyn tarkoitetuissa altaissa on lisäksi pohjalla salaojaverkosto, joka jakaa keväällä sulamisveden tasaisemmin maaperään. Tämä on tärkeää, koska juuri lumikasan pohjakerrokseen kerääntyy suurin määrä lumikasan sisältämistä haitallisista aineista. Koska lumi välillä sulaa osittain ja jäätyy uudelleen, aineet kerääntyvät lumikasan pohjakerrokseen sulamisveden kuljettamina. Lumen lopulta sulaessa kokonaan tämä konsentroituneita lika-aineita sisältävä kerros on heti kosketuksissa maan kanssa. Altaan varastotilavuutta ja menovirtaamaa on myös pystyttävä muuttamaan, jotta sulamisvettä voidaan pidättää ja imeyttää. (Oberts 1994b)

Vaikka lumen sijoittamisella ja käsittelyllä on suuri merkitys sulamisvesien aiheuttamalle kuormitukselle, myös ehkäisevät toimenpiteet kuten teiden suolauksen vähentäminen ovat tärkeitä tekijöitä. Ehkäisevien toimenpiteiden avulla voidaan vähentää lumeen kohdistuvaa ainekuormitusta sekä vesistöihin kohdistuvia haittoja.

5 Muita hulevedenkäsittelymenetelmiä

Huleveden käsittelemiseksi on kehitetty varsinaisten luonnonmukaisten hulevedenkäsittelymenetelmien lisäksi monia muitakin ratkaisuja, jotka eivät välttämättä ole itsessään kovin luonnonmukaisia. Niiden avulla pyritään kuitenkin parantamaan huleveden laatua ja edistämään luonnonmukaisempaa vesitaloutta.

5.1 Öljynerotin

Öljynerotimissa hulevesi johdetaan erotinaltaaseen, jossa öljy nousee veden pinnalle, koska sen tiheys on veden tiheyttä pienempi. Vedessä olevat partikkelit laskeutuvat erottimen pohjalle. Puhdistunut vesi johdetaan altaan toisesta päästä pois. Altaat ovat umpinaisia ja ne on usein upotettu maahan, jolloin vesi on helppo johtaa niihin esimerkiksi katualueilta. Öljynerottimet soveltuvat parhaiten esikäsittelyksi hyvin likaisille, esimerkiksi katualueiden öljypitoisille hulevesille. Öljynerottimen jälkeen vesi voidaan johtaa muuhun käsittelyyn. Öljynerottimet eivät pysty käsittelemään kovin suuria hulevesivirtaamia ja ne vaativat paljon huoltotoimenpiteitä. (Larm et al. 1999)

5.2 Suodatinkaivot

Suodatinkaivoista on kehitetty monenlaisia hieman toisistaan poikkeavia ratkaisuja. Suodatinkaivo voi olla esimerkiksi ”pohjaton” sadevesikaivo, jonka pohjalla on noin 50 cm:n paksuinen kerros suodatinhiekkaa tai soraa, jonka läpi vesi suodattuu. Kiintoainepartikkelit sekä niihin kiinnittynyt aineet jäävät suodatinhiekkään. Suodatinkerroksen yläreunan tulisi olla riittävän kaukana pohjaveden pinnasta, vähintään n. 1.5 m korkeinta pohjavedenpintaa ylempänä. Suodatinkaivot soveltuvatkin alueille, joilla pohjavedenpinta on syvällä ja maaperä on huonosti vettä läpäisevää. (König 1996) Suodatinkaivo voi olla myös alaosaan reiällinen, pohjallinen putki, josta vesi suodattuu kaivon alla ja ympärillä olevaan hiekka- tai soratäytteeseen. Osa kiintoaineesta laskeutuu jo kaivon pohjalle, joka on umpinainen. Sora- tai hiekkatäytön ympärillä voi olla geotekstiiliverhous pitämässä materiaalia paikallaan (Larm et al. 1999)

5.3 Kaivosuodatin

Kaivosuodatin on perinteiseen sadevesikaivoon asennettava erillinen suodatin-rakenne. Karkeampi sedimentti kerääntyy suodattimen alapuolelle kaivon pohjalle kun taas hienompijakoinen aines jää itse suodattimeen. Suodatinmateriaalina voi toimia esimerkiksi aktiivihiili, polypropyleeni, selluloosamateriaali tai rakeinen turve. Suodattimen huolto on tärkeää ja suodatinmateriaali onkin vaihdettava noin 2-4 kertaa vuodessa suodatinvalmistajien mukaan. (Larm et al. 1999)

6 Suomessa toteutetut projektit

Vaikka Suomessa luonnonmukainen hulevedenkäsittely on vasta valtaamassa alaa, on maassamme toteutettu joitakin pilottiprojekteja. Pihlajarinteen asuinalue Espoossa on yksi vanhimmista, jo 1980-luvulla toteutetuista hulevesien imeytämiskokeiluista. Pihlajarinteen maanalaisten hidastus-imeytysrakenteiden avulla voitiin perinteisen sadevesiviemäriverkoston putkikokoa pienentää. Näin saatiin aikaan hieman säästöjä kunnallistekniikan rakennuskustannuksissa. Altaita rakennettiin vain muutama ja maaperä ei ollut alueella kaikkein parasta imeyttämisen kannalta. Hidastus-imeytysrakenteet edesauttavat kuitenkin paikallisesti alueen maa- ja pohjavesivarastojen ylläpitämistä ja vähentävät vesistöihin hulevesistä aiheutuvaa kuormitusta.

Vaasan keskustan Vital Vaasa-projektissa suunniteltiin Vaasan vanhalle keskusta-alueelle lähinnä huleveden viivyttämiseen ja imeyttämiseen perustuvia käsittelyratkaisuja. Lisäksi tehtiin kokeita viivytyks- ja suodatusmenetelmille sekä kosteikkokäsittelylle. Koerakenteet olivat toiminnassa hyvin lyhyen ajan, joten niiden antamista tuloksista ei voida päätellä juuri mitään menetelmien hulevedenpuhdistustehosta. Vaikka Vaasan keskustaan suunnitellut rakenteet käsittävät vain pienen osan Vaasan keskustasta, projektista saadaan arvokasta tietoa siitä, miten olemassa oleville kaupunkialueille voidaan soveltaa luonnonmukaisia hulevedenkäsittelymenetelmiä.

Viikin ekoasuinalueella Helsingissä luonnonmukainen hulevedenkäsittely on yksi osa kokonaisvaltaista ekologista rakentamisprojektia. Viikissä on pyritty yhdistämään monenlaisia hulevedenkäsittelymenetelmiä. Alue on pyritty sitomaan maanpäällisten imeytysaltaiden, maanalaisten imeytysrakenteiden, "vihersormien" sekä luonnonmukaistetun Viikinojan avulla ympäröivään luontoon. Vaikka Viikin asuinalue onkin sijoitettu savimaalle ja rakennettu keinotekoisien sorakerroksen päälle, on se monipuolisten luonnonmukaisten hulevedenkäsittelymenetelmiensä sekä luonnonmukaisuuteen pyrkivän aluerakenteensa kannalta hyvä esimerkkiprojekti Suomesta.

7 Johtopäätökset

Luonnonmukaisia hulevedenkäsittelymenetelmiä käytännössä toteutettaessa on tärkeää, että suunnitteluvaiheessa kartoitetaan aluksi kohdealueen luonnonolosuhteet. Luonnonmukaisissa hulevedenkäsittelymenetelmissä on perinteiseen hulevedenkäsittelyyn verrattuna paljon enemmän tekijöitä - ilmasto-olosuhteet, kasvillisuus, maaperä ja mikrobitoiminta- jotka vaikuttavat hulevedenkäsittelyrakenteiden toimintaan.

Imeytysmenetelmät soveltuvat parhaiten käytettäväksi valuma-alueen yläosissa, joissa imeytymistä tapahtuu luonnostaankin. Pohjaveden likaantumiseriski on otettava aina huomioon imeytettäessä erityisen likaisia, esimerkiksi katualueilta valuvia hulevesiä. Kosteikkokäsittelyyn ja viivyttämiseen parhaiten so-

veltuvat alueet sijaitsevat valuma-alueen alaosissa, joissa maaperä on huonosti vettä läpäisevää. Huleveden johtamiseen tarkoitettuja kasvillisuuspainanteita voidaan käyttää yhdysväylinä eri käsittelymenetelmien välillä.

Talviolosuhteet ja erityisesti se aika kevästä jolloin lumi sulaa, ovat Suomessa kriittistä aikaa luonnonmukaisten hulevedenkäsittelyrakenteiden toimivuuden kannalta. Hulevedenkäsittelyrakenteet tulisikin aina varustaa mitoitusvirtaamaa suuremmat virtaamat johtavilla ylivuotojärjestelmillä. Hulevedenkäsittelyrakenteet tulisi mitoittaa keskimääräisten sateiden mukaan. Tällöin esimerkiksi kosteikot eivät kuivana aikanakaan ole täysin ilman vettä ja tarvittava viipymä hulevedelle saavutetaan. Lisäksi kosteikkoihin ei synny haitallisia oikovirtausreittejä, joita myöten hulevesi virtaa nopeasti kosteikon läpi puhdistumatta kunnolla. Sekä kosteikkoja, viivytyksaltaita, että imeyttämiseen ja huleveden johtamiseen perustuvia menetelmiä voidaan soveltaa Suomen olosuhteisiin. Maanalaiset imeytysrakenteet tulisi Suomessa sijoittaa aina routarajan alapuolelle. Maanalaisiin imeytysrakenteisiin liittyvät kaivot on rakennettava tarpeeksi syviksi roudan takia. Teknisempiä hulevedenkäsittelymenetelmiä kuten öljynerottimia ja kaivosuodattimia voidaan käyttää paikallisesti erittäin likaisten hulevesien puhdistuksessa esimerkiksi suurilla pysäköintialueilla, vilkkailla risteysalueilla, lentokentillä ja teollisuusalueilla.

On myös muistettava, että hulevedenkäsittelymenetelmien lisäksi tulisi kiinnittää huomiota huleveden likaantumista ehkäiseviin toimenpiteisiin, kuten puhtaampien polttoaineiden kehittämiseen ja tiesuolauksen vähentämiseen. Luonnonmukaisista hulevedenkäsittelymenetelmistä huolimattakin hulevesien sisältämiä lika-aineita pääsee ainakin jonkin verran luontoon. Esimerkiksi raskasmetallit jäävät imeytysrakenteen avulla maaperään, jossa ne ovat myös ympäristöongelma kuten vesistöissäkin. Hulevesien puhdistusratkaisut voidaankin ajatella ”ensiavuksi”, joiden avulla huleveden laatua voidaan parantaa jossakin määrin. Pitkällä tähtäimellä tulisi pyrkiä siihen että haitta-aineita ei joudu huleveteen lainkaan.

Kaupunkialueiden hydrologian parantamisessa tulisi yhdistää sekä vesitalous huomioon ottava aluesuunnittelu, alueiden yksityiskohtainen kaavoitus että luonnonmukaiset hulevedenkäsittelymenetelmät. Tarkastelun on lähdettävä valuma-alueiden tasolta ja luonnon olosuhteiden kartoituksesta. Vesitalouteen pohjautuvan kaupunkialueiden suunnittelun tulisi olla yhtenäinen prosessi yleiskaavoituksesta alueiden yksityiskohtaiseen kaavoitukseen ja hulevedenkäsittelymenetelmien suunnitteluun saakka.

Tulevaisuudessa huleveden luonnonmukaista käsittelyä koskevia suosituksia voidaan laatia Euroopan Unionin jäsenmaissa. Suomessakin tulisi jatkaa luonnonmukaisten menetelmien soveltamista ja tutkimista myös näitä uusia säädöksiä ennakoiden. Rakentamisen kaikilla osa-alueilla pyritään yhä enemmän käyttämään luonnonmukaisempia ratkaisuja. Myös hulevedenkäsittelyssä tulisi pyrkiä tähän, sillä tulevaisuudessa luonnonmukaisten asuinympäristöjen arvo tulee kasvamaan entisestään.

Hulevedet ja kiinteistöjen kuivatus

Hallinnon ja lainsäädännön kehittäminen

Juha Sario
juha.sario@helsinki.fi
Helsingin yliopisto, Oikeustieteellinen tiedekunta

Kaarle Kupiainen
kaarle.kupiainen@helsinki.fi
Nordic Envicon Oy

Hannu Silvennoinen
hannu.silvennoinen@nordicenvicon.fi
Nordic Envicon Oy

Heikki Tervahattu
heikki.tervahattu@helsinki.fi
Nordic Envicon Oy

I Johdanto

Kiinteistöjen kuivatuskysymyksiin¹ liittyvät vastuut ja velvoitteet ovat viime aikoina nousseet esille erityisesti rakennusten kosteus- ja homeongelmien takia. Hulevesien² johtaminen saattaa aiheuttaa lisääntyviä tulvaongelmia, kun yhä suuremmilta aloilta johdetaan sade- ja sulamisvedet pintavalumana. Meriin ja muihin vesistöihin kohdistuva haitta-ainekuorma on viime vuosina noussut esille mm. Suomenlahden leväongelmien johdosta. Hule- ja kuivatusvesiä on perinteisesti pidetty ”puhtaina” vesinä. Tutkimustiedon perusteella näin ei aina välttämättä ole. Ympäristönsuojelussa on uusimpien lakien myötä otettu käyttöön ympäristön kannalta parhaan käytännön periaate, jonka soveltaminen kaupunkimaisen yhdyskunnan tuottamiin vesiin tulisi käsittää myös katuja ja muita rakennettuja pintoja myöten valuvat hulevedet.

Kiinteistöjä koskevia määräyksiä ja ohjeita sade- ja kuivatusvesien johtamisesta on runsaasti, mutta kunnan ja viemärlaitoksen rooli ja vastuut ovat epäselviä. Sääntelyssä hulevedet ja kiinteistöjen kuivatusvedet ovat kulkeneet pääasiassa viemäriverisien yhteydessä. Tämä ei välttämättä ole perusteltua, sillä hulevesien ja kiinteistöjen kuivatusvesien synty ja luonne poikkeaa huomattavasti viemäriverisistä.

Kunta toimii eri elintensä kautta varsin monessa hule- ja kuivatusvesiin liittyvässä oikeudellisessa roolissa. Se on ensinnäkin velvollinen järjestämään vesi- ja viemärihuollon alueellaan ja voi samalla olla vesihuoltolaitoksen omistajana. Kunta käyttää myös entistä suurempaa kaavoitusvaltaa sekä toimii lupa- ja valvontaviranomaisena rakennuslain, ympäristönsuojelulain, vesilain ja terveydensuojelulain mukaisissa asioissa.

¹ Kiinteistöjen kuivatuksella tarkoitetaan maaperässä olevan veden poisjohtamista ja pohjaveden pinnan alentamista lähinnä kiinteistöjen ja muiden rakenteiden suojaamiseksi kosteudelta.

² Hulevesillä tarkoitetaan rakennetuilla alueilla syntyviä sade- ja sulamisvesiä, jotka virtaavat valumapintoja myöten maastoon, avo-ojiin ja putkiviemäriin.

Tätä hanketta edeltäneessä Ympäristöministeriön toimeksiannosta tehdyssä esiselvityksessä määriteltiin keskeisiksi kehittämiskohteiksi yleisellä tasolla:

- Uudistaa hule- ja kuivatusvesiin liittyvää sääntely- ja viranomaisjärjestelmää
- Selvittää miten hule- ja kuivatusvesien johtamiseen tulee soveltaa ympäristön kannalta parasta käytäntöä (BMP) ja parasta käyttökelpoista tekniikkaa (BAT)

Ennen tämän hankkeen aloittamista näitä tavoitteita täsmennettiin ja nähtiin tärkeiksi selvitettäviksi asioiksi:

- löytää taho, jonka toimintaan vastuu hule- ja kuivatusvesistä luontevasti kuuluu
- selvittää, miten hule- ja kuivatusvesien johtamisen valvonta tulisi järjestää
- kytkeä hule- ja kuivatusvedet vesilain uudistamiseen ja vesipuitedirektiivin valmisteluun
- löytää kriteerit ns. lupakynnyksen laukeamiselle
- integroida hule- ja kuivatusvesimääräykset eri lakien säädöksiin
- määritellä periaatteet, joilla hule- ja kuivatusvesiin liittyvät kustannukset lasketaan ja maksut peritään

Hule- ja kuivatusvesien syntytapojen, niiden laadun ja haitta-ainekuormituksen selvittämiseksi Ympäristöministeriö on antanut tähän hankkeeseen nähden erillisen toimeksiannon - *"Kaupunkivedet ja niiden hallinta (RYVE)"*. Yhteistyö ja tietojen vaihto tämän hankkeen ja RYVE- hankkeen kesken on ollut oleellista arvioitaessa hule- ja kuivatusvesien pilaamisvaikutusta.

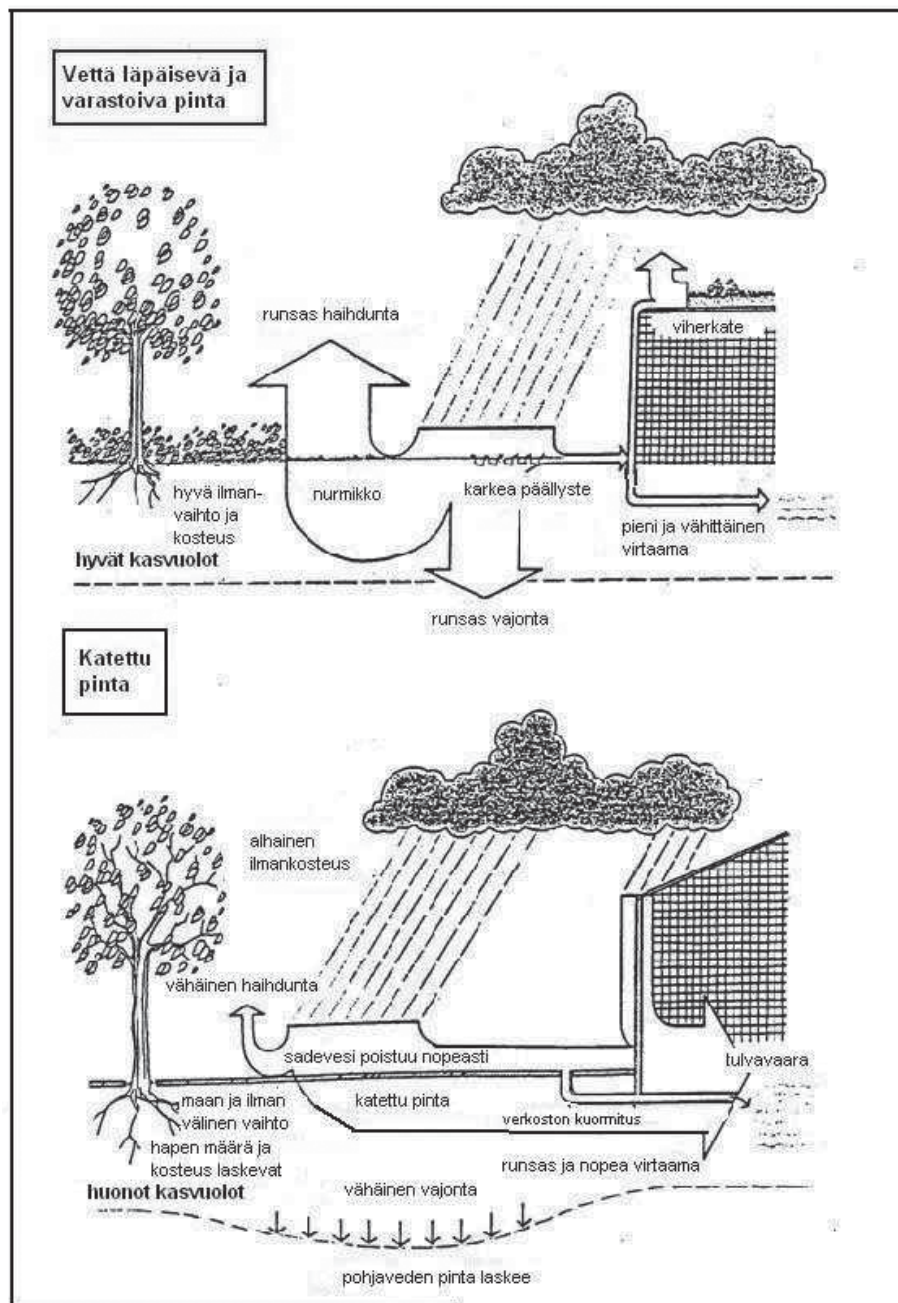
Tässä osiossa käsitellään hule- ja kuivatusvesien hallinnoinnin ja lainsäädännön nykytilaa ja kehittämismahdollisuuksia. Toimenpidesuositukset perustuvat tehtyjen selvitysten lisäksi ohjausryhmän edustajilta saatuihin kommentteihin, mielipiteisiin ja keskusteluissa esille tulleisiin seikkoihin. Hankkeen keskeisenä lopputuloksena on ideoitu alueellinen hulevesisuunnitelma ja sen luvitusmenetely (liite 4).

2 Selvitykset ja niiden tulokset

2.1 Hulevesien määrä, laatu ja ainepitoisuudet

Valtaosa kaupunki- ja taajama-alueilla syntyvistä hule- ja kuivatusvesistä johdetaan oja ja putkistoja pitkin käsittelemättä lähivesistöihin. Ainoastaan vanhoilta kantakaupunkiosilta hule- ja kuivatusvedet johdetaan muiden jätevesien mukana jätevedenpuhdistamoille.

Kaupunkimaisen rakentamisen lisääntyessä veden normaali kiertokulku, kuten imeytyminen maaperään estyy ja pois johdettava hulevesimäärä kasvaa (kuva 1). Rakennetulla alueella tämä saattaa aiheuttaa mm. eroosiota sekä maaperän kuivumista ja siitä johtuvaa kasvillisuuden vedensaannin vaikeutumista. Toisaalta tulvavaarat lisääntyvät. Purkuvesistöihin kohdistuvat vaikutukset voivat johtua esim. hule- ja kuivatusvesien toksisuudesta tai pohjasedimenttiin sitoutuvista haitta-aineista.



Kuva 1.

Eri pintaratkaisujen vaikutus maiseman vesitalouteen (Lähde: H. Palo, 1991).

Ylempi kuva esittelee vettä imevien ja läpäisevien pintojen etuja. Alemmassa kuvassa vettä läpäisemättömien pinnoitteiden käyttö johtaa pohjaveden pinnan laskuun, maaperän ilma ei vaihdu, kasvuolosuhteet heikkenevät. Vesi virtaa välittömästi pois ja tulvahuiput ovat suuret.

"Kaupunkivedet ja niiden hallinta (RYVE)"-hankkeesta on käytettävissä raportit kirjallisuustutkimuksesta ja kokeellisesta tutkimuksesta (Kotola ja Nurminen 2003a ja 2003b). Hule- ja kuivatusvesien mahdollista pilaavaa vaikutusta arvioitaessa voidaan nostaa esille muun muassa seuraavia tekijöitä:

- 1 Kaupungistuminen ja rakennettujen alueiden lisääntyminen aiheuttavat sadannan kasvua ja haihdunnan pientymistä. Sadannan kasvu johtuu mm. saastumisen aiheuttamasta ilmassa tapahtuvasta lisätiivistymisestä ja ilmapurrojen pyörteisyyden lisääntymisestä. Kasvun suuruus voi olla 10 – 15 %. Haihdunnan väheneminen puolestaan johtuu siitä, että sadevesi johdetaan nopeasti pois päällystetyiltä pinnoilta eikä vesi ehdi imeytyä maaperään, josta se sateen jälkeen voisi haihtua kasvillisuuden avulla ja suoraan päällystämättömän pinnan läpi.
- 2 Kaupungistuminen lisää hule- ja kuivatusvesien eli pintavalunnan määrää ja voimistaa sen ajallisia vaihteluja. Hule- ja kuivatusvesien osuus voi tyypillisesti olla 30 – 50 % sadannasta, kun niiden osuus rakentamattomalla alueella on alle 10 %. Tästä voi seurata tulvien lisääntymistä varsinkin, jos sademäärät lisääntyvät kasvihuoneilmiön johdosta siten kuin on arvioitu (Suomessa 15-25%).
- 3 Rakennettujen alueiden hule- ja kuivatusvesien ainepitoisuudet ovat yleisesti 1 – 2 kertaluokkaa suurempia kuin metsäisten valuma-alueiden vesien ainepitoisuudet. Tämä johtuu toisaalta monista erilaisista päästölähteistä, kuten ajoneuvoista, liikenteestä, teollisuudesta, rakennuksista, kemikaaleista, eläinten jätöksistä, roskista ja jätteistä, mutta myös toisaalta siitä, että kaupunkialueilla on vähän pintavettä puhdistavia elementtejä kuten avo-ojia, lammikoita ja kosteikkoja.
- 4 Ainepitoisuudet vaihtelevat suuresti erilaisten kaupunkialueiden välillä. Moottoritiltä ja rakennettavalta alueelta tuleva kiintoainehuuhtouman on kirjallisuudessa esitetty olevan yli 1 000 -kertainen väljästi rakennetulta alueelta tulevaan huuhtoumaan verrattuna. Moottoriteiden aiheuttama ainehuuhtouma rajoittuu paikallisesti ja rakentaminen ajallisesti, joten näiden alueiden ainehuuhtouma väljästi rakennetun alueen ainehuuhtoumaan ei suoraan verrannollinen, mutta antaa kuvan huleveden ainehuuhtouman vaihteluvälistä.
- 5 Hule- ja kuivatusvesien ainepitoisuuksista erityisesti kiintoaineen, kokonaisfosforin ja biologisen hapenkulutuksen pitoisuudet ovat keskimäärin yli kymmenkertaisia verrattuna rakentamattomien alueiden pintavesiin ja myös suurempia kuin peltovaltaisten valuma-alueiden pintavesien ainepitoisuudet. Hule- ja kuivatusvesien ainepitoisuudet ovat korkeimmillaan sulamiskaudella ja toisaalta sateen alussa kuivan jakson jälkeen. Oleellista on, että sulamiskaudella myös vesien määrä on suurimmillaan ja sulamisvalunnan osuuden on todettu olevan jopa yli 50 % vuotuisesta ainehuuhtoumasta.
- 6 Rakennettujen alueiden laajenemisen myötä lyhytaikaiset virtaamahuiput kasvavat voimakkaasti ja virtaamahuippuja seuraa pienentyneen alivirtaaman jakso.
- 7 Monissa maissa hule- ja kuivatusvesien on todettu olevan merkittävä vesistöjen pilaaja. Hule- ja kuivatusvettä pidetään yhtenä tärkeimmistä hajakuorituksen lähteistä orgaanisen aineksen, raskasmetallien, ravinteiden, saastuneen sedimentin ja patogeenien osalta. Esimerkiksi Tukholman järvien sedimentin korkean metallipitoisuuden tärkeimpänä aiheuttajana pidetään tiealueilla muodostuvaa hule- ja kuivatusvettä.
- 8 Päällystetyt pinnat vähentävät veden imeytymistä maaperään ja siten pohjaveden muodostusta. Laajoilla kaupunkialueilla pohjaveden pinnan alenemisella on vaikutusta muun muassa maaperän vesitalouteen ja stabiiliuteen sekä kasvillisuuden elinehtoihin.

Verrattaessa kerrostaloalueen huleveden ainepitoisuuksia puhdistetun jäteveden ainepitoisuuksiin (taulukko 1) havaitaan, että hule- ja kuivatusveden ainepitoisuudet ovat kiintoaineen ja raskasmetallien osalta selvästi puhdistetun jäteveden pitoisuuksia korkeammat, mutta ravinteiden ja kemiallisen hapenkulu-

Taulukko 1. Huleveden ja käsitellyn jäteveden ainepitoisuuksien vertailu.

		Pitoisuus tai kuormitus	Suhde
Hulevesi(kerrostaloalue)	COD _{Mn} (mg/l O ₂)	10	
Käsitelty jätevesi		40	1:4
Hulevesi(kerrostaloalue)	Tot-N (mg/l)	2,1	
Käsitelty jätevesi		25	1:12
Hulevesi(kerrostaloalue)	Tot-N (kg/as/a)	0,07	
Käsitelty jätevesi		2	1:30
Hulevesi(kerrostaloalue)	Tot-P (mg/l)	0,01	
Käsitelty jätevesi		0,3	1:30
Hulevesi(kerrostaloalue)	Tot-P (kg/as/a)	0,003	
Käsitelty jätevesi		0,06	1:20
Hulevesi(kerrostaloalue)	Kiintoaine (mg/l)	53	
Käsitelty jätevesi		10	5:1
	Raskasmetallit keskimäärin		2:1

tuksen osalta jäteveden pitoisuuksia alemmat. Oheiseen taulukkoon kootut hulevesiä kuvaavat pitoisuudet ovat RYVE- projektin kokeellisessa tutkimuksessa mitattuja. Keskusta-alueilta ja liikenneväyliltä tulevilla vesillä pitoisuudet voivat olla vielä korkeampia. Hule- ja kuivatusvesien aiheuttama kuormitus on laskettu tutkimukseen sisältyvien koelueiden väestömäärään perusteella. Jätevesien laatu perustuu yhdyskuntajätevesien puhdistamojen lupaehtoihin. Joidenkin RYVE- selvityksessä referoitujen tutkimusten mukaan hule- ja kuivatusveden kokonaisfosforipitoisuuden on todettu olevan samalla tasolla kuin käsitellyn jäteveden pitoisuus.

Hule- ja kuivatusvesien mahdollisia vesistöjä pilaavia vaikutuksia arvioitaessa on vesien purkupaikoilla keskeinen merkitys. Käsitelty jätevedet johdetaan yleensä jopa kilometrien päähän rantaviivasta, kun taas hule- ja kuivatusvedet johdetaan tyypillisesti rantaviivalle asutuksen keskelle. Tällöin runsaan kiintoaineen aiheuttama samentuminen ja raskasmetallien sitoutuminen pohjasedimenttiin ovat ilmeisiä vaikutuksia. Lisäksi hulevesien sisältämien ravinteiden liukoiset pitoisuudet ovat oletettavasti suhteellisesti korkeammat kuin käsitellyn jäteveden liukoiset pitoisuudet, joten niiden haitallisuuden ja rehevöittävän vaikutuksen voidaan olettaa olevan suuremman kuin mitä kokonaispitoisuusarvoista voisi suoraan päätellä.

2.2 Hule- ja kuivatusvesien hallinnan nykytila

Hule- ja kuivatusvesien johtaminen ja hallinta on kokonaisuus, jonka osapuolina ovat kiinteistöt, kunta (osin myös valtio) ja vesihuoltolaitos. Ongelmia aiheuttavat eri osapuolten tehtävien rajapinnat, vastuut ja velvoitteet, joita käytännön moninaisia tilanteita ajatellen ei hallita riittävän hyvin.

Ongelmatilanteet vaihtelevat tapauksittain paljon mutta päätapaukset aiheuttavat joko uuden rakennuksen estäessä vanhan rakennuspaikan kuivatusta tai uuden rakennuksen aiheuttaessa maanpinnan korottamisen seurauksena esimerkiksi rankkasateiden tai sulamisvesien johtumista alemmille tonteille.

Erityyppisissä kunnissa omaksuttujen käytäntöjen ja kuntien vastuuhenkilöiden mielipiteiden kartoittamiseksi osana hanketta tehtiin kuntakysely, joka toteutettiin haastattelututkimuksena. Siinä käytettiin jaottelua:

- Vastuutahot
- Tekniset kysymykset ja kustannukset
- Valvonta ja lupakynnys
- Kaavoitus ja lainsäädäntö
- Ongelmat

Taulukko 2. Hulevesiin liittyvien vastuiden jakautuminen suuremmissa kaupungeissa kolmen eri ratkaisumallin mukaisesti.

	Vesihuoltolaitos	Katuosasto	Tekninen toimi
Ratkaisu 1	-Suunnittelu -Rakentaminen -Ylläpito	-Sakkapesät	
Ratkaisu 2	-Ylläpito		-Suunnittelu -Rakentaminen
Ratkaisu 3	-Suunnittelu -Rakentaminen -Ylläpito	-Sakkapesät -Liittymät	

Taulukko 3. Hulevesiin liittyvien vastuiden jakautuminen pienemmissä kaupungeissa/kunnissa kolmen eri ratkaisumallin mukaisesti.

	Vesihuoltolaitos	Katuosasto
Ratkaisu 1	-Suunnittelu -Rakentaminen -Ylläpito	-Sakkapesät
Ratkaisu 2	-Tarvittaessa avustaa	-Suunnittelu -Rakentaminen -Ylläpito
Ratkaisu 3		-Suunnittelu -Rakentaminen -Ylläpito

Vastuutahojen osalta kunnissa on muotoutunut jonkin verran erilaisia käytäntöjä. Keskeisinä toimijoina ovat vesihuoltolaitos ja kunnan katuosasto. Yleisin malli erityisesti suuremmissa kaupungeissa on, että vesihuoltolaitos suunnittelee, rakentaa ja ylläpitää järjestelmää sekä vastaa näin ollen myös vesien johtamisesta (taulukko 2, Ratkaisu 1). Pienemmissä kunnissa katuosaston rooli on keskeisempi ja joissakin kunnissa jopa niin, että koko vastuu on katuosastolla (taulukko 3, Ratkaisu 3). Hule- ja kuivatusvesien keruun ja johtamisen järjestäminen miellettiin kunnan vastuulla olevaksi asiaksi kaavoitetuilla alueilla, joka yleensä vastaa vesihuoltolaitoksen toiminta-aluetta. Haja-asutusalueilla vastuu hule- ja kuivatusvesien johtamisesta katsottiin pääsääntöisesti kuuluvan kiinteistön omistajalle.

Hule- ja kuivatusvesien johtamisen **tekninen toteutus** on hoidettu avo-ojin ja putkiviemärein, joita ovat sekä sekaviemärit (jätevedet ja hulevedet) että erillisviiemärit. Avo-ojien ja sekaviemärien käytöstä ollaan mahdollisuuksien mukaan luopumassa ja uusille alueille rakennetaan pääsääntöisesti erillisputkiviemäreitä. Hule- ja kuivatusvedet mielletään ”puhtaiksi” vesiksi, jonka vuoksi ne johdetaan lähes poikkeuksetta käsittelemättöminä vesistöihin.

Hule- ja kuivatusvesiverkon rakentamisesta ja ylläpidosta aiheutuvat **kustannukset** katettiin joissakin kunnissa erillisellä liittymismaksulla ja toisissa kunnissa kustannukset sisällytettiin joko jätevesimaksuun tai katuosaston kustannuksiin. Haastattelussa kustannukset peittävää liittymismaksua pidettiin oikeudenmukaisena ratkaisuna. Vesimääräperusteisen maksun käyttöönottoa ei nähty mahdolliseksi.

Hule- ja kuivatusvesien laatua ja päästöjä ei ole mitattu eikä valvontatarvetta nähty olevan. Joissain yksittäistapauksissa hulevesien ja toisaalta lumenkaadon on epäilty aiheuttavan samentumista ja roskaantumista, mutta merkittäviä haittoja ei ole todettu. Hule- ja kuivatusvesien johtamisen saattamista luvanvaraiseksi toiminnaksi ei pidetty tarpeellisena – tosin erään tulkinnan mukaan hule- ja kuivatusvesien johtamislupa sisältyy vesihuoltolaitoksen ympäristölupaan. Lisäksi tuotiin esille, että nykyinen ympäristönsuojelulaki antaa kunnan ympäristöviranomaiselle mahdollisuuden puuttua yksittäisiin tapauksiin ja vaatia puhdistustoimia.

Lainsäädännön hajanaisuus ja päällekkäisyys on koettu myös käytännön ongelmaiksi. Uudet vesihuoltolaki sekä maankäyttö- ja rakennuslaki ovat jossain määrin parantaneet tilannetta, mutta edelleen kokonaisuuden selkeyttäminen on tarpeen. Epäselvyyttä on lähinnä vettymiskysymyksissä, ojariidoissa ja kaavoittamattomilla alueilla vesien johtamisoikeuksissa. Hule- ja kuivatusvesien johtamista koskevia kaavamääräyksiä ei yleensä käytetä, vaikka se lainsäädännön puitteissa olisi mahdollista.

Hule- ja kuivatusvesistä ja niiden johtamisesta aiheutuvat **ongelmat** liittyvät edellä mainittujen kiinteistöjen välisten riitojen lisäksi liittymispakkoon, vuotovesien määrään ja viemäriin korkeusasemaan. Vanhemmilla alueilla on ollut vaikeuksia saada kiinteistöt liittymään myöhemmin rakennettuun hulevesiviemäriin, silloin kun kiinteistön omistaja on järjestänyt hule- ja kuivatusvesien johtamisen muuten. Monissa kunnissa jätevesiviemäriin tulevien vuotovesien määrä ylittää varsinaisten jätevesien määrän, mikä johtaa vedenpuhdistamon vajaatoimintaan tai tarpeettoman suuren puhdistamon rakentamiseen. Vuotovesien suuren määrän epäillään osittain johtuvan hule- ja kuivatusvesien luvattomasta johtamisesta jätevesiviemäriin. Joissakin tapauksissa hulevesiviemäri on korkeammalla kuin kiinteistön kuivatussalaojat. Asia on ratkaistu joko antamalla lupa hule- ja kuivatusvesien johtamiseen jätevesiviemäriin tai hule- ja kuivatusvesien johtamiseksi on jouduttu rakentamaan pumppaamo.

2.3 Hulevesiä koskevan sääntelyn kuvailu ja kehittäminen

Hule- ja kuivatusvesiä koskeva nykysääntely on kokonaisuutena varsin vaikeasti hahmotettavissa ja sääntely on hajonnut poikkeuksellisen moniin eri lakeihin ja menettelyihin. Hajanaisuuden lisäksi ongelmia aiheuttaa myös säännösten päällekkäisyys. Sääntelyn rakenne on mitä ilmeisimmin seurausta siitä, ettei hule- ja kuivatusvesien johtamista käsitellä missään säädöksessä yhtenä kokonaisuutena, vaan se seuraa liitännäisenä oikeusongelmana esimerkiksi rakennusteknistä sääntelyä, viemärointiin liittyvää lainsäädäntöä tai ojitussäännöksiä, jolloin luonnollisesti seurauksena on sääntelyn pirstaloituminen.

Lisäongelmia liittyy myös siihen, että ympäristöoikeuden alalla viranomaisjärjestelmäkin on varsin hajautunut. Esimerkiksi sadevesiviemäriin liittyvän ra-

sitten perustamista voivat käsitellä useat eri viranomaiset riippuen siitä minkä lain mukaisesta rasitteesta on kysymys.

Hule- ja kuivatusvesiä koskevan sääntelyn kokosi OTL Juha Sario Helsingin yliopiston oikeustieteellisessä tiedekunnassa hyväksytyyn lisensiaattintyöhön³ (Sario 2003)³, joka on osa tätä hanketta. Lisensiaattintyö koostuu neljästä osiosta:

I Johdanto, tutkimustehtävän asettaminen ja hulevesiä koskevan kokonais-sääntelyn kuvailu

II Hule- ja kuivatusvesiä koskevan sääntelyn historiaa

III Oikeusvertailu - hule- ja kuivatusvesien johtamista koskeva lainsäädäntö Ruotsissa

IV Hule- ja kuivatusvesien johtamista koskevan sääntelyn ja rasitejärjestelmien kehittäminen

2.3.1 Rasitteet ja niiden muodostaminen

Sario (2003) käsittelee perusteellisesti hule- ja kuivatusvesien johtamisoikeuksien perustamismahdollisuuksia ja rasitteen muodostumista (osio I). Kiinteistön omistajalla tai haltijalla, jolle vastuu hule- ja kuivatusvesien johtamisesta ja kiinteistön kuivatuksesta selkeästi kuuluu samoin kuin julkisella toimijalla kuten kunnalla tai vesihuoltolaitoksella keskitetyn vesihuollon järjestäjänä on mahdollisuus saada rasiteoikeus monen eri lain nojalla. Lisäksi rasite voidaan muodostaa yksityisoikeudellisella keskinäisellä sopimuksella, jonka syntyminen ei välttämättä tule valvovien viranomaisten tietoon eikä sitä kirjata mihinkään rekisteriin. Erilaisia rasitteen muodostamistapoja, jotka ovat monissa tapauksissa vaihtoehtoisia, on koottu taulukkoon 4. Taulukosta käy ilmi se, kuinka monille eri viranomaisille päätöksenteko näistä oikeuksista kuuluu ja kuinka hajallaan asioiden aineellinen käsittely tällä hetkellä on.

Kuntakyselyssä rasitteiden perustamistapoja ei pidetty merkittävänä käytännön ongelmana kuntien kannalta, mutta kylläkin sen nähtiin aiheuttavan sekaannusta kiinteistön omistajien piirissä. Kyselyn perusteella kunnilla tai vesihuoltolaitoksilla ei ole ollut vaikeuksia saada tarvittavia rasiteoikeuksia. Myöskään ohjaamismahdollisuuksien rajallisuutta ei pidetty käytännön ongelmana, koska kiinteistönomistajat yleensä noudattavat kunnalta saamiaan ohjeita eikä pakkokeinoja tarvita.

Johtamisoikeudet perustetaan käytännössä kaava-alueilla maankäyttö- ja rakennuslain säädösten mukaisina ja haja-asutusalueilla vesilain säädösten mukaisina.

2.3.2 Ympäristöluvan tarve

Ympäristönsuojelulain mukainen ympäristöluvan tarve hule- ja kuivatusvesien johtamiselle ja mahdolliselle käsittelylle syntyy, jos niiden johtamisesta voi aiheutua vesistön pilaantumista. Keskeistä on käsitteen ”vesistön pilaantuminen” tulkinta, jota lainsäädännössä ei ole. Vesilain pohjalta tehtyjen aiempien ratkaisujen pohjalta luvanvaraisuuden voidaan arvioida syntyvän vasta, kun laajemmalta alueelta kerätyt hule- ja kuivatusvedet johdetaan yhdestä lähteestä vesistöön.

Mikäli hule- ja kuivatusvesien keruuseen ja johtamiseen käytetään seka- viemäröintiä, ympäristönsuojelulain mukainen ympäristöluvantarve syntyy, kun asukasvastineluku on suurempi kuin 100. Lupaviranomaisena on pääsääntöisesti alueellinen ympäristökeskus.

³ Lisensiaattintyö kokonaisuudessaan on saatavana joko oikeustieteen laitoksen kirjastosta tai Juha Sariolta.

Taulukko 4. Hule- ja kuivatusvesien johtamisoikeuksien rasitteen muodostamistapoja.

	RAKENNUS- VALVONTA VO ¹	YMPÄRISTÖN- SUOJELU VO	KIINTEISTÖ-/ LUNASTUS- TOIMITUS	OJITUS- TOIMITUS	YMPÄRISTÖ- LUPA- VIRASTO	AYK ²
MRL ³ RASITE	Rasitteen perustaminen		Korvaukset			YSL ⁴ Ympäristö- lupa
VL ⁵ OJITUS		Ojituksesta ei sovita Yksityistien alta Veden johtaminen toiseen ojaan Korvaukset		Ympäristö- lupaviraston lupaa vaativa ojitus Ojitus yleisen kulkuväylän ali Yhteisestä ojituksesta ei sovita Korvaukset	VL Yleiskieltojen vastainen ojitus Korvaukset	
KML ⁶ RASITE			Rasitteen perus- taminen Korvaukset			YSL Ympäristö- lupa

¹ viranomainen

² alueellinen ympäristökeskus

³ maankäyttö- ja rakennuslaki

⁴ ympäristönsuojelulaki

⁵ vesilaki

⁶ kiinteistönmuodostumislaki

2.3.3 Vahingonkorvaussäätely

Tämän hankkeen esiselvityksessä käsiteltiin tarkemmin hule- ja kuivatusvesiin liittyvää vahingonkorvaussäätelyä. Vahingonkorvauksiin liittyvä perushankaluus on se, että rasitteiden perustamissäätely ja rasitteista mahdollisesti aiheutuva vahingonkorvaus käsitellään pääsääntöisesti eri prosesseissa. Ainoastaan vesilakiin sisältyy kattava vahingonkorvaussäätely. Lisäksi korvausten kattavuus saattaa vaihdella eri lakien mukaisissa menettelyissä. Esimerkiksi maankäyttö- ja rakennuslakiin ei sisälly lainkaan vahingonkorvaussäännöksiä, joten mikäli rasite on perustettu kyseisen lain nojalla, täytyy mahdolliset vahingonkorvausasiat käsitellä yleisen vahingonkorvaussäätelyn – lähinnä vahingonkorvauslain mukaan.

2.3.4 Sääntelyn kehittäminen ja kehittämisvaihtoehdot

Hule- ja kuivatusvesien sääntelyn kehittämis- ja selkeyttämistarve on tiedostettu ja ollut olemassa jo pitkään. Eräänä merkittävänä yrityksenä on ollut ns. rasiteoikeustoimikunnan tekemä työ ja ehdotukset vuodelta 1984. Toimikunnan mukaan eri järjestelmien mukaiset rasitteiden perustamis-, muuttamis- ja poistamisedellytykset poikkeavat toisistaan ja joistakin säännöistä ne puuttuvat kokonaan. Lisäksi ongelmana pidettiin haitan ja vahingon korvaamista koskevan sääntelyn erilaisuutta eri normistoissa. Tilanne ei ole muuttunut tähän päivään mennessä.

Kunnan tai muun julkisen toimijan kannalta kehittämistarve usein liittyy ns. yleisen edun valvontaan. Tällaisia ovat muun muassa toimimattoman järjestelmän muuttaminen ja yhteisen yksityisen viemärin määräämisoikeus, jotka kumpikin saattavat nykysääntelyssä jäädä viranomaisen toimivaltuuksien ulkopuolelle, mutta jotka käytännön tilanteissa olisivat tarpeen. Yleisen edun valvontaa ja siihen liittyvää hallintopakkoa on käsitellyt yksityiskohtaisemmin Sario (2003) lisensiaatintyönsä osion IV alussa. Siihen sisältyy myös rasitejärjestelmien ja viranomaismenettelyjen vertailu.

Hule- ja kuivatusvesiä koskevan sääntelyn kehittämisen tärkeimpinä kohteina selvityksen mukaan ovat rasitteiden muodostamismenettelyt, asemakaavamääräysten käyttö, vahingonkorvaussääntelyn yhtenäistäminen ja ympäristönsuojelullisen kontrollin tarve. Kehittämisvaihtoehtoja on laajasti käsitellyt Sario (2003), osion IV loppuosassa.

Selvityksen eräänä johtopäätöksenä on, että hule- ja kuivatusvesiä koskeva erillissääntely ei ole tarpeen, vaan hule- ja kuivatusvesiä koskevat täsmennykset ja lisäykset tehdään asianomaisiin lakeihin. Lähtökohtana on nykyisen sääntelyrakenteen säilyttäminen.

Rasitteet on perusteltua muodostaa kaava-alueilla maankäyttö- ja rakennuslain mukaisella menettelyllä ja muualla vesilain mukaisella menettelyllä. Poikkeuksena edellä olevaan ovat yksityisen kiinteistönomistajan tarvitsemat rasiteoikeudet kaava-alueella, joiden perustaminen kiinteistönmuodostamislain mukaisella menettelyllä näyttää parhaalta vaihtoehdolta. Edellä esitetyn pääjaon välisille raja-alueille jää varmasti monia tilanteita, joista yhtenä esimerkkinä on avo-ojien käyttö hulevesiviemärinä kaava-alueella. Avo-ojien käsittely vesilain mukaisessa menettelyssä olisi luontevaa. Näin ollen rajaukset ja tulkinnat eri menettelyjen soveltamisesta ovat tarpeen käytännön tilanteita ratkottaessa.

Vahingonkorvaussääntelyn osalta selvityksessä tultiin johtopäätökseen, että hule- ja kuivatusvesien johtamiseen liittyvät vettymis- ja kuivumisvahingot tulisi saattaa ympäristövahinkolain ankaran vastuun piiriin nykyistä selkeämmin. Lisäksi vesilain ojitussäännöksiä tulisi tarkistaa siten, että rasitetulle kiinteistölle aiheutuva haitta korvataan eikä pelkästään vahinko, kuten asianlaita on nykyisessä laissa.

Hule- ja kuivatusvesien ympäristönsuojelullisen kontrollin tarve lisääntyy, koska hule- ja kuivatusvesien aiheuttama suhteellinen kuormitus kasvaa toisaalta jätevesien käsittelyn tehostumisen ja toisaalta hule- ja kuivatusvesien keruun piiriin tulevien rakennettujen alueiden kasvun myötä. Ympäristönsuojelulakiin sisältyvä selvilläolovelvollisuus koskee myös hule- ja kuivatusvesien johtamista vesistöön ja antaa jo nyt ympäristönsuojeluviranomaiselle oikeuden vaatia toimenpiteitä pilaavan hulevesipäästön ollessa kyseessä.

Ruotsissa kontrollin ja jopa hule- ja kuivatusvesien käsittelyn tarve on nähty vahvana, koska siellä asemakaava-alueiden hule- ja kuivatusvesiä pidetään jätevesinä ja niiden johtamista luvanvaraisena toimintana. Ainoastaan vähempää kuin 25 ihmistä palvelevat järjestelmät on siellä jätetty luvitustarpeen ulkopuolelle. Ruotsissa käytössä olevaa sääntelyä on laajemmin käsitellyt Sario (2003) lisensiaattityön osiossa III.

3 Johtopäätökset ja suositukset

Kuntakyselyn ja tehtyjen selvitysten perusteella on ilmeistä, että hule- ja kuivatusvesien johtamiseen ja hallinnointiin on muodostunut jonkin verran toisistaan poikkeavia, mutta toimivia käytäntöjä eikä merkittäviä puutteita koeta olevan. Lainsäädäntö on kuitenkin hajanaista ja osin päällekkäistä, mikä aiheuttaa sekaannusta ja riitoja varsinkin tontinomistajien välille. Suomessa uutena asiana on noussut esille kysymys hule- ja kuivatusvesien pilaavasta vaikutuksesta ja ympäristönsuojelullisen kontrollin tarpeesta.

Kuntakyselyn perusteella **vastuu** hule- ja kuivatusvesien johtamisesta on jossain määrin selkeytymätön asia, koska erilaisia järjestelmiä ja tilanteita on paljon. Taulukkoon 5 on koottu tyypillisimmät tilanteet ja nimetty niihin liittyvät vastuutahot. *Kuten taulukosta 5 ilmenee, yhtä kaikkiin tilanteisiin sopivaa vastuutahoa on mahdoton löytää eikä siihen liene tarvettakaan.* Tyypillisin tilanne on, että kiinteistö ja vesihuoltolaitos yhdessä hoitavat hule- ja kuivatusvesien keruun ja johtamisen. Monissa tapauksissa erityisesti haja-asutusalueilla johtaminen on pelkästään kiinteistön vastuulla. Kaupunkialueilla taasen katuosasto saattaa kerätä ja johtaa vedet, ylläpitää hulevesiviemärin sekä imeyttää vedet maaperään.

Lumenkaatotoiminta (kuormaus, kuljetus ja sijoitus) voidaan vastuumielessä rinnastaa hule- ja kuivatusvesien keruuseen ja johtamiseen. Kiinteistöltä kerätty lumi on kiinteistön vastuulla niin kauan, kun lumenkaatopaikan pitäjä tai muu taho on ottanut sen vastaan (vrt. vesihuoltolaitos hule- ja kuivatusveden osalta). Rakennetuilta alueilta kerättyä lunta ei ympäristöministeriön tulkinnan mukaan sen sisältämistä lika- ja haitta-aineista huolimatta pidetä jätteenä eikä jätelainsäädäntöä sovelleta lumenkaatotoimintaan.

Hule- ja kuivatusvesien keruun ja johtamisen kokonaisvaltaista hallinnointia varten ideoitui menettely, jota kutsutaan **alueelliseksi hulevesisuunnitelmaksi**. Se liitetään osaksi kaavoitusprosessia ja siinä esitetään kokonaisvaltaisesti vesien keruu- ja johtamisjärjestelmä, purkupaikat, lumenkaatopaikat, arviot vesi- ja haitta-ainemääristä, vastuutahot ja maksuperusteet. Suunnitelma sisällytetään uusiin asemakaavoihin ja kaavamutoksiin. Sellaisilla kaavoitetuilla alueilla, joilla kaavamutoksia ei ole vireillä, hule- ja kuivatusvesien johtamisesta pääasiallisesti vastuussa oleva taho velvoitetaan esittämään hule- ja kuivatusvesisuunnitelma kunnan rakennusvalvonnan hyväksyttäväksi. Suunnitelman hyväksymisprosessissa kunnan ympäristönsuojeluviranomainen toimii lausunnonantajana. Suunnitelmien esittämisen ja niiden toimeenpanon valvonta tulee kunnan rakennus-

Taulukko 5. Hulevesien johtamisen vastuukysymykset

Hulevesien johtaminen	Vastuutaho	Muuta
Tontin sisäinen	Kiinteistö	Rakennusvalvonnan roolin selkeyttäminen/vahvistaminen ?
”Korttelin” sisäinen	Kiinteistöt yhdessä	Yhteinen yksityinen viemäri ?
Katualueet (johtaminen katujen varsilla)	Katu-osasto	Kadut joskus tärkeä osa johtamisjärjestelmää (kaupungit). Vedet saatetaan johtaa esim. puistoalueelle, jossa imeytetään suoraan vesistöön. Mikä on silloin vesihuoltolaitoksen rooli ? Puhtaasti vesihuoltolaitoskeskeinen malli ei huomioi kaikkia käytännön ratkaisuja (vai onko kadunpitäjä joissain tapauksissa vesihuoltolaitos - huleveden osalta ?)
Avo-ojat	Katu-osasto	Avo-ojat mukana katujen kuivatuksessa, toimivat samalla hulevesien johtamisessa, mikä on silloin vesihuoltolaitoksen rooli (vrt. Johtaminen katualueita pitkin)
Lumenkaato	Katu-osasto	
Runkoverkko (putkiverkko)	Vesihuoltolaitos	Avo-ojat (mitä jos avo-ojat hulevesijärjestelmässä perusratkaisuna) ?
Johtaminen: Vesistöön Imeytys (esim. puistoalueille) Muuhan järjestelmään (esim. ojajhtymän järjestelmään)		

valvonnan vastuulle analogisesti muiden rakennuslupien esittämisen ja rakentamisen valvonnan kanssa. Alueellisen hulevesisuunnitelman alustavia rajoja ja sisältöä on tarkemmin käsitelty liitteessä 4. Alueellisen hulevesisuunnitelman käyttöönotto edellyttää asiaa koskevia täsmennyksiä maankäyttö- ja rakennuslakiin (MRL).

Vedenjohtamisoikeuksien eli **rasitteiden** perustamisen osalta päällekkäisten ja vaihtoehtoisten menettelyjen karsiminen on tarpeen. Nykysääntelyn puitteissa parhaalta näyttää järjestelmä, jossa julkinen toimija perustaa rasitteet asema-kaava-alueilla maankäyttö- ja rakennuslain mukaisessa menettelyssä ja yksityinen kiinteistönomistaja kiinteistönmuodostamislain mukaisessa menettelyssä. Järjestelmän käyttöönotto vaatisi täsmennyksiä mainittuihin lakeihin. Mikäli rasite perustetaan kiinteistönomistajien välisellä sopimuksella ilman viranomaiskontrollia, tulee sopimuksesta tehdä ilmoitus kiinteistörekisteriin. Ehdotetun alueellisen hulevesijärjestelmän käyttöönoton myötä poistuisivat päällekkäisyydet kaavoitetuilla alueilla ja lisäksi sopimus pohjaiset rasitteet tulisivat viranomaiskontrollin piiriin ja rekisteröidyiksi. Kaava-alueiden ulkopuolella käytetään vesilain mukaista menettelyä ja asiaa koskevat määräykset tulisi tehdä valmisteilla olevaan vesilakiin.

Hule- ja kuivatusvesien johtamisen mahdollisten **haitallisten** vaikutusten ja edelleen tarvittavien toimenpiteiden arvioimiseksi ympäristönsuojeluviranomaisten ohjeistaminen tulee tarpeelliseksi. Lisäksi esitetään, että taajamissa⁴ on hule- ja kuivatusvesien johtaminen saatettava YSL:n ilmoitusmenettelyn piiriin. Voimassaoleva ympäristönsuojelulaki (YSL) antaa riittävät puitteet ja toimintaedellytykset eikä uutta säätelyä tältä osin tarvita.

Hule- ja kuivatusvesien johtamisesta aiheutuvan **haitan ja vahingon korvaaminen** vaihtelee eri lakien mukaisissa menettelyissä. Tämä epäkohta olisi mahdollista korjata esimerkiksi siten, että ympäristövahinkolakiin lisätään vetymistä ja kuivumista koskevat säännökset ja vesilain mukaisiin korvauksiin ojituksesta kiinteistölle aiheutuva haitta. Haitan ja vahingon korvausasioita ei kuitenkaan sisällytetty ehdotukseen alueellisesta hulevesisuunnitelmasta vaan korvausmenettelyä koskeva sääntely nähtiin parhaaksi ehdottaa tehtävän EU:ssa valmisteilla olevan vahingonkorvaussääntelyn valmistuttua.

⁴Taajamina pidetään kaikkia vähintään 200 asukkaan rakennusryhmiä, jos rakennusten välinen etäisyys ei yleensä ole 200 metriä suurempi. Muutkin kuin asuinrakennukset otetaan huomioon.

Lähdeluettelo

- Akan, A.O. 1993. Urban Stormwater Hydrology - A Guide to Engineering Calculations. Technomic Publishing Co., Lancaster, Pennsylvania. 268 s. ISBN 0-87762-966-6.
- Andersson, H. 1983. Urban structural dynamics in the city of Turku, Finland. *Fennia* 161: 2, 145-262.
- Arnold, C.L. Jr. & Gibbons, C.J. 1996. Impervious Surface Coverage, the Emergence of a Key Environmental Indicator. *Journal of the American Planning Association*, 62, 2, s. 247-258.
- Becciu, G. & Paoletti, A. 1997. Random characteristics of runoff coefficient in urban catchments. *Water Science and Technology*, 36, 8-9, s. 39-44. ISSN 0273-1223.
- Bengtsson, L. & Westerström, G. 1992. Urban snowmelt and runoff in northern Sweden. *Hydrological Sciences Journal*, 37, 3, s. 263-275.
- Bhanduri, B., Harbor, J., Engel, B. & Grove, M. 2000. Assessing watershed-scale, long-term hydrologic impacts of land-use change using a GIS-NPS model. *Environmental Management* 26: 6, 643-658.
- Bingman, I. (ansvarig utgivare) 1983. Dagvattenhantering. Planering och miljöeffekter Stockholm: AB Allmänna förlaget. 72 s. (Naturvårdsverkets meddelande 1/1983). ISBN 91-38-07325-0
- Booth, D.B. & C.R. Jackson (1997). Urbanization of aquatic systems - degradation thresholds, stormwater detention, and the limits of mitigation. *Journal of the American Water Resources Association* 33: 5, 1077-1090.
- Buttle, J.M. & Xu, F. 1988. Snowmelt Runoff in Suburban Environments. *Nordic Hydrology*, 19, 1988, s. 19-40. ISSN 0029-1277.
- Calomino, F. & Paoletti, A. 1994. Le misura di pioggia e di portata nei bacini sperimentali urbani italiani. Centro Studi Deflusi Urbani, Milano.
- Chocat, B., Krebs, P., Marsalek, J., Rauch, W. & Schilling, W. 2001. Urban drainage redefined: from stormwater removal to integrated management. *Water Science and Technology*, 43, 5, s. 61-68. ISSN 0273-1223.
- Coefficient of runoff by land uses. 2001. <http://ucplanning.uc.edu/xwang/603/whitewater/tsld026.htm> [WWW, viitattu 24.7.2001]
- Control of pollution from urban runoff. 1983. Paris, OECD. Water Management Policy Group, Programme of Diffuse Sources of Water Pollution. *Luonnos*. 126 s.
- Davenport, A.J., Gurnell, A.M. & Armitage, P.D. 2001. Classifying urban rivers. *Water Science and Technology* 43: 9, 147-155.
- Deletic, A. 1998. The first flush load of urban surface runoff. *Water Research*, Vol. 32, No. 8, s. 2462-2470. ISSN 0043-1354.
- Dreher, D. & Price, T. 1992. Best Management Practice Guidebook for Urban Development. Northeastern Illinois Planning Commission. 54 s.
- Duncan, H.P. 1999. Urban Stormwater Quality: a Statistical Overview. Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology. Report 99/3, February 1999. 80 s. + liitteet. ISSN 1039-7361
- Evelt, J.B., Love, M.A. & Gordon, J.M. 1994b. Effects of Urbanization and Land Use Changes on Low Stream Flow. Water Resources Research Institute of the University of North Carolina, Report no. 284. 146 s.

- Ferguson, B.K. 1998. Introduction to stormwater - concept, purpose and design. John Wiley & Sons, Inc. 255 s. ISBN 0-471-16528-X
- Geiger, W.F., Marsalek, J., Rawls, W.J. & Zuidema, F.C. (eds). 1987. Manual on drainage in urbanized areas. Volume I. Planning and design of drainage systems. Studies and reports in hydrology, 43. Unesco. ISBN 92-3-102416-7.
- Geologian tutkimuskeskus. 1996. Geologian tutkimuskeskus, geokemian osasto. Suuralueellinen geokemiallinen purovesikartoitus 1990. Erillinen haku tietokannasta, 06/1996.
- Heino, R. 1976. Urban climatology and its relevance to urban design. Tech. Note No. 149, WMO, Geneva, 61 s.
- Heino, R. 1978. Urban effect on climatic elements in Finland. *Geophysica* 15, 2, s. 171-188.
- Hogland, W. 1986. Rural and urban water budgets: a description and characterization of different parts of the water budgets with special emphasis on combined sewer overflows. Lund University, Institute of Science and Technology, Department of Water Resources Engineering. Report No 1006. Lund, Sweden. ISSN 0346-8062. 278 s.
- Horner, R.R. & May, C.W. 1998. Watershed urbanization and the decline of salmon in Puget Sound Streams. Teoksessa *Salmon in the City Conference*, MountVernon, WA. Abstracts, 18-39. <http://depts.washington.edu/cuwrw/>
- Horner, R.R., Skupien, J.J., Livingston, E.H. & Shaver, E.H. 1994. Fundamentals of Urban Runoff Management: Technical and Institutional Issues. Terrene Institute and U.S. Environmental Protection Agency. Washington DC.
- HS. 1999a. Monikonpurolle suunnitellaan putkea liikekeskuksen alitse. *Helsingin Sanomat* 16.5.1999.
- HS. 1999b. Monikonpuro vei päähuomion Leppävaaralta Espoon valtuustossa. *Helsingin Sanomat* 18.5.1999.
- HS. 2000. Leppävaaran rakennustöitä viivytännyt puroriita ratkesi. *Helsingin Sanomat* 23.3.2000.
- Hyvärinen, V. 1986. Valunta. Teoksessa: Mustonen, S. (toim.) 1986. Sovellettu hydrologia. Vesiyhdistys r.y. Helsinki. 503 s. S. 152-223. ISBN 951-95555-1-X ISSN 0782-9612.
- Kajosaari, E. 1965. Huomioita fosforin huuhtoutumisesta vesistöihin. *Vesitalous* 3/1965, 17-25.
- Kannala, M. 2001. Vaasan kaupungin hulevesikuormituksen vähentäminen. Alueelliset ympäristöjulkaisut 216, Länsi-Suomen ympäristökeskus, Vaasa. 95 s. ISBN 952-11-0899-1.
- Kaupunkirakenteen kehitys 1878 - 1983. 1984. Lahden kaupunkisuunnitteluvirasto, kaavoitusosasto B11/1984. 124 s.
- Keto, J. 2001a. Vs: Joutjokea koskeva tutkimus. Henkilökohtainen sähköpostiviesti. 19.10.2001.
- Keto, J. 2001b. Re: Vesijärven laskuojat & joutjoki + kuormitus... <http://www.vesku.net/kalastus/keskustelu/viestit/33.htm>
- Ketola, T. 1998. Veden laatu ja ainekuljetus Mellunkylänpurossa, Itä-Helsingissä. 46 s. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja, 1998, 7. Helsingin kaupungin ympäristökeskus, Helsinki. ISSN 1235-9718 ISBN 951-718-179-5
- Kotola, J. ja J.Nurminen 2003a. Kaupunkialueiden hydrologia - valunnan ja ainehuuhtouman muodostuminen rakennetuilla alueilla, osa 1: kirjallisuustutkimus. Espoo, Teknillinen korkeakoulu. Teknillisen korkeakoulun vesitalouden ja vesirakennuksen julkaisuja, 7. ISBN/ISSN: 951-22-6495-1/1456-2596.
- Kotola, J. ja J.Nurminen 2003b. Kaupunkialueiden hydrologia - valunnan ja ainehuuhtouman muodostuminen rakennetuilla alueilla, osa 2: koealuetutkimus. Espoo, Teknillinen korkeakoulu. Teknillisen korkeakoulun vesitalouden ja vesirakennuksen julkaisuja, 8. ISBN/ISSN: 951-22-6497-8/1456-2596.

- Kuprianov, V.V. 1974. Hydrological effects of urbanization in the Union of Soviet Socialist Republics. *Teoksessa*: McPherson, M.B. (ed.). 1974. Hydrological effects of urbanization. Studies and reports in hydrology, 18. The UNESCO Press. s. 137 - 148. ISSN 0081-7449 ISBN 92-3-101223-1.
- Kuusisto, P. 2002. Kaupunkirakentamisen vaikutus pieniin valuma-alueisiin ja vesistöihin Suomessa. Helsingin yliopiston maantieteen laitoksen julkaisuja B 48. 69 s. ISBN/ISSN: 952-10-0874-1/0355-11055
- König, K. 1996. Regenwasser in der Architektur: ökologische Konzepte. Stufen bei Freiburg: Okobuch Verlag. 236 s. ISBN 3-922964-60-5
- Lameranta, J. 2005. Uudenmaan ympäristökeskus. Suullinen tiedonanto 13.01.2005.
- Landsberg, H.E. 1970. Climates and urban planning. Urban climates. WMO-No. 254, s. 366-374.
- Lapinlampi, T. & Raassina, S. (toim.). 2002. Vesihuoltolaitokset 1998 - 2000. Suomen ympäristö 542, Suomen ympäristökeskus, 288 sivua. ISBN 952-11-1088-0 (nid.), ISBN 952-11-1089-9 (PDF) <http://www.vyh.fi/palvelut/julkaisu/elektro/sy542/sy542.htm>, ISSN 1238-7312.
- Larm, T. 2000. Utforming och dimensionering av dagvattenreningsanläggningar. Stockholm: Realtryck AB. 67 s. (VA-FORSK rapport 2000-10) ISBN 91-89182-47-2
- Larm, T., Holmgren, A., & Börjesson, E. 1999. Plastssparande befintliga renings-system för dagvatten. Stockholm, VBB VIAK. 27 s.
- Lawrence, I. 1999. Canberra Stormwater Management: An Australian Case Study. *Teoksessa*: Rowney, C.A., Stahre, P. & Roesner, L.A. (toim.). 1999. Sustaining Urban Water Resources in the 21st Century (Proceedings of Conference held in Malmo, Sweden, September 7-12, 1997). Reston, VA: ASCE. S. 327-341. ISBN 0-7844-0424-0.
- Livingstone, E., E. Shaver and J. Skupien 1997. Operation, Maintenance & Management of Stormwater Management, Watershed Management Institute, Inc. in cooperation with Office of Water, U.S. Environmental Protection Agency, Washington D.C.
- Lundberg, K. & Lindman, P. 1994. Rening av vägdagvatten. Linköping: Tryck-Center Ab. 45 s. (Statens geotekniska institut, Vägledning 7). ISSN 1100-6692
- Lönngrén, G. 2001. Vatten i dagen - exempel på ekologisk dagvattenhantering. Milano: Eurolito S.p.A. 71 s. ISBN 91-7332-958-4
- Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus 2005. Maatilojen lukumäärä ja keskipeltoala (aikasarja 1990-2002). <http://tike.mmm.fi/Tilasto/maataloustilastoja.htm>, 29.01.2005.
- Maasilta, A., Pekkarinen, M., Tuononen, E. & Vakkilainen, P. 1980. Ainehuuhtoutumista pelto- ja metsävaltaisella valuma-alueella Siuntionjoen vesistössä. Teknillinen korkeakoulu, Vesiteknikan laitos, Julkaisu 18. 36 s. ISBN 951-752-116-2.
- Maanmittauslaitos 2005. SLICES-alueidenkäyttökisteri. <http://www.slices.nls.fi>, 29.01.2005.
- Mattsson, T., L. Finer, P. Kortelainen and T. Sallantausta 2003. "Brook water quality and background leaching from unmanaged forested catchments in Finland." Water, Air and Soil Pollution 147:275-297.
- McPherson, M.B. (ed.). 1974. Hydrological effects of urbanization. Studies and reports in hydrology, 18. The UNESCO Press. ISSN 0081-7449 ISBN 92-3-101223-1.
- Melanen, M. 1981. Quality of runoff in urban areas. Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja 42, 123 - 188. ISBN/ISSN: 951-45-6066-8/0355-0982.
- Melanen, M. 1982. "Valtakunnallisen hulevesitutkimuksen tulokset." Vesitalous 3:1-20.
- Melanen, M. 1982. Quantity, composition and aerial load of urban runoff water

- in Finland. Acta Polytechnica Scandinavica, Civil Engineering and Building Construction Series, No. 80. ISBN 951-666-139-4 ISSN 0355-2705.
- Melanen, M. & Laukkanen, R. 1981. Quantity of storm runoff water in urban areas. *Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja* 42, 3 - 38.
- Melanen, M. 1986. Ihmisen vaikutus hydrologiseen kiertoon. Kaupungistuminen. *Teoksessa*: Mustonen, Seppo (toim.) 1986. Sovellettu hydrologia. Vesiyhdistys r.y. Helsinki. S. 408 - 411. ISBN 951-95555-1-X ISSN 0782-9612.
- Mikkola, A. 2004. Maanmittauslaitos. Suullinen tiedonanto 25.11.2004.
- Miljöförvaltningen i Stockholm. Miljöbokslut för Stockholm åren 1985 t o m 1995 / Vattnet. Miljöförvaltningen i Stockholm, Stockholm. <http://www.slb.mf.stockholm.se/miljo/bokslut/xvattnet.htm> [WWW, viitattu 14.8.2002].
- Niemczynowicz, J. 1994. New Aspects of Urban Drainage and Pollution Reduction Towards Sustainability. *Water Science and Technology*, 30, 5, s. 269 - 277. ISSN 0273-1223.
- Novotny, V. and H. Olem 1993. Urban and Highway Diffuse Pollution. *Water Quality: prevention, identification and management of diffuse pollution*. New York, Van Nostrand Reinhold:439-506.
- Nurmi, P. 2001. Sadevesiviemäreiden vedenlaatu. Helsingin kaupungin ympäristökeskus, moniste. 22 s. Helsingin kaupungin ympäristökeskus, Helsinki. <http://www.hel.fi/ymk/julkaisut/Monisteet/mon0801.pdf> [WWW, viitattu 12.7.2002].
- Oberts, G.L. 1994a. Influence of Snowmelt Dynamics on Stormwater Runoff Quality. *Watershed Protection Techniques*, 1, 2, s. 55 - 61, 1994. ISSN 1073-9610.
- Oberts, G.L. 1994b. Performance of Stormwater Ponds and Wetlands in Winter. *Watershed Protection Techniques*, 1, 2, s. 64 - 68, 1994. ISSN 1073-9610.
- Panu, J. 1998. Maisemarakenteen ja taajamarakenteen yhteensovittaminen. Vantaa: Sinari Oy. 80 s. (Suomen Ympäristö 264). ISBN 952-11-0387-6
- Puustinen, M., Koskiahho, J., Puumala, M., Riihimäki, J., Rätty, M., Jormola, J., Gran, V., Ekholm, P. & Maijala, T. 2000. Vesiensuojelukosteikot viljelyalueiden valumavesien hallinnassa. Helsinki: Oy Edita Ab. 67 s. (Suomen ympäristökeskuksen moniste 178). ISBN 952-11-0655-7
- Ristimäki, M., K. Oinonen, H. Pitkäranta ja K. Harju 2003. Kaupunkiseutujen väestömuutos ja alueellinen kasvu. Suomen ympäristö 657, Ympäristöministeriö, Helsinki. ISBN/ISSN: 196.952-11-1531-9/1238-7312.
- Ruth, O. 1998. Mätäjoki - nimeään parempi: kaupunkipuron virtaama, aineskuljetus ja veden laatu sekä valuma-alueen virkistyskäyttö. 119 s. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja, 1998, 6. Helsingin kaupungin ympäristökeskus, Helsinki. ISSN 1235-9718 ISBN 951-718-178-7
- Schueler, T.R. 1987. Controlling urban runoff: A practical manual for planning and designing urban BMPs, Metropolitan Washington Council of Governments, Washington, D.C. 240 s.
- Schueler, T.R. 1994. The Importance of Imperviousness. *Urban surface water management*, 1, 3, s. 100-111.
- Schueler, T. 1994. "The importance of imperviousness." *Watershed Protection Techniques* 1(3): 100-111.
- Schueler, T. 1995. Site Planning for Urban Stream Protection. Metropolitan Washington Council of Governments and Center for Watershed Protection. 232 s.
- Seutus suunnittelun keskusliitto. 1986. Luonnonolosuhteet seutus suunnittelussa. Helsinki. 123 s. (Julkaisu A 67)
- Silvo, K., Hämäläinen, M-L., Forsius, K., Jouttijärvi, T., Lapinlampi, T., Santala, E., Kaukoranta, E., Rekolainen, S., Granlund, K., Ekholm, P., Räike, A., Kenttämies, K., Nikander, A., Grönroos, J. & Rönkä, E. 2002. Päästöt vesiin

- 1990 - 2000: vesiensuojelun tavoitteiden väliarviointi. Suomen ympäristökeskuksen moniste nro 242. Suomen ympäristökeskus, Helsinki. 68 s. ISBN 952-11-1066-X (nid.) 952-11-1067-8 (pdf) <http://www.vyh.fi/palvelut/julkaisu/elektro/symon242/symon242.htm> [WWW päivitetty 6.3.2002, viitattu 12.7.2002].
- Snodgrass, W.J., Kilgour, B.W., Leon, L., Eyles, N., Parish, J. & Barton, D.R. 1999. Applying Ecological Criteria for Stream Biota and an Impact Flow Model for Evaluating Sustainable Urban Water Resources in Southern Ontario. *Teoksessa*: Rowney, C.A.; Stahre, P. & Roesner, L.A. (ed.). 1999. Sustaining Urban Water Resources in the 21st Century (Proceedings of Conference held in Malmo, Sweden, September 7-12, 1997). Reston, VA: ASCE. s. 263 - 279. ISBN 0-7844-0424-0.
- Sonzogni, W.C., Chesters, G., Coote, D.R., Jeffs, D.N., Konrad, J.C., Ostry, R.C. & Robinson, J.B. 1980. Pollution from land runoff. *Environmental Science and Technology*. 14, 2 (February), s. 148 - 153.
- Stenstrom, M.K., Lau, S-L., Lee, H-H., Ma, J-S., Ha, H., Kim, L-H. & Kayhanian, M. 2001. First Flush Stormwater Runoff from Highways. *Proceedings: World Water & Environmental Resources Congress*, May 20-24, 2001. Orlando, Florida.
- Suomen ympäristökeskus. 2001. Veden laadun vaihtelu maamme eri osissa. <http://www.ymparisto.fi/tila/vesi/laatu/virtapai/vedenlaa.htm> [WWW, päivitetty 21.3.2001, viitattu 3.1.2003]
- Suomen ympäristökeskus. 2002. Jätevesien käsittely. <http://www.vyh.fi/hoito/vesihuo/jatevesi/kasittel.htm> [WWW, päivitetty 25.9.2002, viitattu 3.1.2003]
- Suomen ympäristökeskus 2004. Vesistöjen kuormitus ja luonnonhuuhtouma. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=29826&lan=fi>, 01.02.2004.
- Sutherland, R. 1995. Methods for estimating the effective impervious area of urban watersheds. *Watershed protection techniques* 2: 1, 282 - 284.
- Swietlik, W.F. 1999. Stormwater management in the United States - key challenges and possible solutions. *Teoksessa*: Rowney, C.A., Stahre, P. & Roesner, L.A. (eds.). 1999. Sustaining Urban Water Resources in the 21st Century (Proceedings of Conference held in Malmo, Sweden, September 7-12, 1997). Reston, VA: ASCE. s. 68 - 77. ISBN 0-7844-0424-0.
- Tuominen-Halomo, A. 2002. Taimen viihtyy vaikka puro pantiin putkeen. *Länsiväylä* 28.8.2002.
- Urbonas, B. & Benik, B. 1995. Stream Stability Under a Changing Environment. *Teoksessa*: Herricks, E.E. 1995. Stormwater runoff and receiving systems. Chapter 6. Boca Raton : CRC / Lewis Publishers. 458 s. ISBN 1-56670-159-7.
- US EPA. 1990. Impacts of Changes in Hydrology Due to Urbanization. United States Environmental Protection Agency, Watershed Management Unit, Water Division, Region V, Chicago, IL.
- US EPA. 1998. National Water Quality Inventory: 1998 Report to Congress. United States Environmental Protection Agency, Office of Water. <http://www.epa.gov/305b/98report/index.html> [WWW, päivitetty 2.8.2002, viitattu 23.8.2002].
- US EPA. 1999. Preliminary Data Summary of Urban Storm Water Best Management Practices. United States Environmental Protection Agency, Office of Water. EPA-821-R-99-012 <http://www.epa.gov/ost/stormwater/> [WWW, päivitetty 8.5.2002, viitattu 23.8.2002].
- Values of runoff coefficient (C) for rational formula. 2001. [http://www.me.cc.va.us\(dept/ietech/w..._learning/courses/CIV246/table2b.htm](http://www.me.cc.va.us(dept/ietech/w..._learning/courses/CIV246/table2b.htm) [WWW, viitattu 24.7.2001.]

- Vesiensuojelun toimenpideohjelma 2005. 2000. Suomen ympäristö 402. 98 s.
- Vesijohtojen ja viemäreiden suunnittelu. 1979. Kaupunkiliiton julkaisu B63. 316 s.
- Vuorenmaa, J.; Juntto, S. & Leinonen, L. 2001. Sadeveden laatu ja laskeuma Suomessa 1998. Suomen ympäristö, 468. Suomen ympäristökeskus, Helsinki, 115 sivua, ISBN 952-11-0874-6
- Walesh, S.G. 1989. Urban surface water management. John Wiley & Sons, Inc. 518 s. ISBN 0-471-83719-9.
- Wang, L, Lyons, J., Kanehl, P. & Bannerman, R. 2001. Impacts of urbanization on stream habitat and fish across multiple spatial scales. Environmental management 28: 2, 255-266.

- Ahponen, Hannele. 2003. Kohti luonnonmukaisempaa taajamahydrologiaa. Diplomityö, Teknillinen korkeakoulu, vesitalouden ja vesirakennuksen laboratorio, 119 sivua + liitteet. http://www.water.hut.fi/wr/research/urban/julkaisut/Ahponen_dityo.pdf http://www.water.hut.fi/wr/research/urban/julkaisut/Ahponen_dityo_liitteet.pdf
- Kotola, Jyrki. 2003. Kaupunkihydrologia ja hulevedet. Vesitalous, 4/2003, s. 23 - 27. ISSN 0505-3838
- Kotola, Jyrki. 2003. Kaupunkirakentamisen vaikutukset veden kiertokulkuun ja veden laatuun. Tekniikka ja kunta, nro. 8, sivut 18-22. ISSN 1457-7755
- Kotola, Jyrki & Nurminen, Jyrki. 2003. Kaupunkialueiden hydrologia - valunnan ja ainehuuhtouman muodostuminen rakennetuilla alueilla, osa 1: kirjallisuustutkimus. Teknillisen korkeakoulun vesitalouden ja vesirakennuksen julkaisuja 7, (TKK-VTR-7), 92 s. ISBN 951-22-6495-1 (nid.), ISBN 951-22-6496-X (PDF), ISSN 1456-2596 <http://www.water.hut.fi/pdl/TKK-VTR-7.pdf>
- Kotola, Jyrki & Nurminen, Jyrki. 2003. Kaupunkialueiden hydrologia - valunnan ja ainehuuhtouman muodostuminen rakennetuilla alueilla, osa 2: koealue-tutkimus. Teknillisen korkeakoulun vesitalouden ja vesirakennuksen julkaisuja 8, (TKK-VTR-8), 203 s. ISBN 951-22-6497-8 (nid.), ISBN 951-22-6498-6 (PDF), ISSN 1456-2596 <http://www.water.hut.fi/pdl/TKK-VTR-8.pdf>
- Kuusisto, Paula. 2002. Kaupunkirakentamisen vaikutus pieniin valuma-alueisiin ja vesistöihin Suomessa. Helsingin yliopiston maantieteen laitoksen julkaisu- ja B 48. 69 sivua. ISBN 952-10-0874-1 ISSN 0355-1105 http://www.helsinki.fi/ml/maant/labrat/Julkaisuja_B48.pdf
- Luukkonen, Katri & Peltola, Johanna. 2001. Huolehdi hulevesistä - edistä vesistöjen ja lähiympäristösi hyvinvointia. Esite, 4 sivua. http://www.water.hut.fi/wr/research/urban/ryve/oh6/huolehdi_hulevesista.pdf
- Mäkelä, Harri; Kotro, Mikko; Tervahattu, Heikki ja Sario, Juha. 2001. Hulevesiin ja kiinteistöjen kuivatukseen liittyvän lainsäädännön kehittäminen. Esiselvitys. Nordic Envicon Oy. <http://www.ymparisto.fi/tutkimus/ohjelma/klusteri/infra/lakisuom.htm>
- Sario, Juha. 2003. Hule- ja kuivatusvesien johtamista koskeva lainsäädäntö: ra-siteoikeudellinen tutkimus. Helsingin yliopisto, Yksityisoikeuden laitos li-sensiaatintutkimus, 176 s.

Luokkien määritelmä on vapaa lainaus Maanmittauslaitoksen (2004) esittämästä määritelmästä.

8.1.1.1 Luokkakoodi ja nimi: A11. Kerrostaloalueet

Asuinkerrostalo on vähintään 2-kerroksinen rakennus, jonka vallitseva käyttötapa tai -tarkoitus on asuinkäyttö, johon kuuluu useita huoneistoja ja johon kuuluvilla huoneistoilla ei yleensä ole omaa piha-aluetta eikä erillistä sisäänkäyntiä ulkoa.

Asuinkerrostaloalue on alue, joka sisältää yhden tai useamman asuinkerrostalon alla olevine maa-alueineen sekä näiden käyttöä välittömästi palvelevat piha-alueet, kuten esimerkiksi puutarha-, leikki-, paikoitus- ja varastoalueet rakennuksineen.

8.1.1.2 Luokkakoodi ja nimi: A121. Rivi- ja kytkettyjen pientalojen alueet

Rivitalo on yleensä 1 - 2 kerroksinen ja enintään 3 kerroksinen rakennus, jonka vallitseva käyttömuoto tai -tarkoitus on asuinkäyttö, johon kuuluu kaksi (paritalot) tai useampia huoneistoja, joilla kullakin on oma piha-alue sekä erillinen sisäänkäynti ulkoa.

(Toisiinsa) kytketyt pientalot ovat yleensä 1 - 2 kerroksisia ja enintään 3 kerroksia erillisiä rakennuksia, joiden vallitseva käyttömuoto tai -tarkoitus on asuinkäyttö ja jotka on liitetty toisiinsa rakennuskokonaisuudeksi. Kullakin pientalolla on oma piha-alue ja siihen kuuluvilla huoneistoilla oma erillinen sisäänkäynti ulkoa.

Rivi- ja kytkettyjen pientalojen alue on alue, joka sisältää yhden tai useamman rivi- tai kytketyn pientalon alla olevine maa-alueineen sekä ao. rakennusten käyttöä välittömästi palvelevat piha-alueet, kuten esimerkiksi kotitarvepuutarha-, leikki-, liikennöinti-, paikoitus- ja varastoalueet rakennuksineen.

8.1.1.3 Luokkakoodi ja nimi: A122. Erillispientalojen alueet

Erillispientalo on yleensä 1 - 2 kerroksinen ja enintään 3 kerroksinen rakennus, jonka vallitseva käyttömuoto tai -tarkoitus on asuinkäyttö ja johon kuuluu yleensä yksi huoneisto. Erillispientalolla on oma piha-alue.

Erillispientalojen alue on alue, joka sisältää yhden tai useamman erillispientalon alla olevine maa-alueineen sekä ao. rakennusten käyttöä välittömästi palvelevat piha-alueet, kuten esimerkiksi kotitarvepuutarha-, leikki-, liikennöinti-, paikoitus- ja varastoalueet rakennuksineen.

8.1.1.4 Luokkakoodi ja nimi: B111. Liikerakennusten alueet

Liikerakennusten alue on rakennettu alue, jossa rakennusten vallitseva käyttötapa tai käyttötarkoitus on liiketoiminnan tai palveluelinkeinon harjoittaminen. Liikerakennusten alueeksi luetaan liikerakennukset alla olevine maa-alueineen sekä näiden käyttöä välittömästi palvelevat piha-alueet, kuten esimerkiksi paikoitusalueet rakennuksineen.

8.1.1.5 Luokkakoodi ja nimi: B112. Toimistorakennusten alueet

Toimistorakennusten alue on rakennettu alue, jossa rakennuksissa olevien tilojen vallitseva käyttötapa tai käyttötarkoitus on toimistokäyttö.

8.1.1.6 Luokkakoodi ja nimi: B12. Yleisten rakennusten alueet

Yleisten rakennusten alue on rakennettu alue, jonka vallitseva käyttötapa tai käyttötarkoitus on julkisten palveluiden tarjoaminen. Yleisten rakennusten alueeksi luetaan alueet, joilla tarjotaan mm. terveydenhuolto-, vanhusten - ja lastenhoitopalveluja tai joilla harjoitetaan kulttuuri-, opetus-, koulutus- ja tutkimus- tai uskonnollista toimintaa (kirkot, sairaalat, vankilat, päiväkodit, koulut, museot tms). Myös maanpuolustus-, palo- ja pelastustoimeen sekä yleiseen järjestykseen ja ulkoasiain hallintoon liittyvät toiminnot luetaan yleisten rakennusten alueeksi.

8.1.1.7 Luokkakoodi ja nimi: B21. Teollisuusalueet

Teollisuusalue on alue, jolla sijaitsee teollisuustiloja kuten tehtaita tai teollisuushalleja niihin liittyvine aputiloineen, ja jolla harjoitetaan tai jolla voidaan harjoittaa teollista toimintaa. Teolliseksi toiminnaksi luetaan NACE-toimialaluokituksen pääluokkaan D liittyvän toiminnan harjoittaminen.

Teollisuusalueena pidetään myös teollisuuslaitoksen välittömässä yhteydessä olevaa varastoaluetta, joka on tarkoitettu teollisuuden käyttämien raaka-aineiden tai sen tuottamien puolivalmisteiden ja lopputuotteiden tms. pysyväisluonteiseksi säilytyspaikaksi.

8.1.1.8 Luokkakoodi ja nimi: B221. Varastorakennusten alueet

Varastorakennusten alue on erillinen, teollisuuden tuotantolaitosten ulkopuolinen alue, jolla sijaitsee teollisuuden käyttämien raaka-aineiden tai sen tuottamien puolivalmisteiden ja lopputuotteiden tms. pysyväisluonteisena säilytyspaikkana käytettäviä rakennuksia.

8.1.1.9 Luokkakoodi ja nimi: B222. Muut varastoalueet

Muu varastoalue on (yleensä ympäristöstään rajattu tai eristetty) avoin alue joka on tarkoitettu teollisuuden käyttämien raaka-aineiden tai sen tuottamien puolivalmisteiden ja lopputuotteiden tms. pysyväisluonteiseksi säilytyspaikaksi ja joka sijaitsee erillään teollisuuden tuotantolaitoksista.

8.1.1.10 Luokkakoodi ja nimi: C112. Kadut ja kaavatiet

Kadut ja kaavatiet ovat kuntien rakentamia ja ylläpitämiä, taajamien detailjikaava-alueilla sijaitsevia liikennealueita. Myös torit, katuaukiot tms taajamien katuverkoston liitännäisalueet luetaan tähän luokkaan. Katu- ja kaavatietalueeksi luetaan varsinaisten ajorata-alueiden lisäksi muut katu- tai tiealueeseen kuuluvat osat kuten kevyen liikenteen väylä, jalkakäytävä, piennaralue ja vastaavat. Myös katu- ja kaavatietalueiden pysyvät rakennelmat kuten sillat luetaan katu- ja kaavatietalueeksi mikäli kunta vastaa niiden ylläpidosta.

8.1.1.11 Luokkakoodi ja nimi: C113. Yksityistiet

Yksityistiet ovat muiden kuin valtion ja kuntien ylläpitämiä, ajoneuvoliikenteelle tarkoitettuja, muita teitä kuin yleisiä teitä tai katu- ja kaavatietalueita. Tieksi luetaan piennar-, sivuoja- ja muine liitännäisalueineen yleensä vähintään 5 metriä leveä, ajoneuvoliikenteelle tarkoitettu kulkuväylä, joka on erityisesti rakennettu, pinnoitettu ja ojitettu. Yksityistieihin luetaan järjestäytyneet yksityistiet sekä järjestäytymättömät, yhden tai muutaman tilan tiet.

Maankäyttöluokkien varaama ala (ha)

Yleistetty maankäyttöluokka/Vesistöalue	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
10				4,06							
11	4,94	29,19	13,44	1628,69	4,69	57,88			6,38	1,38	1,81
13	20,44	53,44	30,75	2015,75	12,06	20,56		5,06	27,63	5,69	14,63
14	1189,63	860,6	1159	38217,31	320,1	976,1	47,3	136	435,8	192,1	310,6
42	1,94	14,06	10,44	470,19	2,94	29			4,5	8,63	3,5
43	2,63	5,75	2	194,13	1,38	5,19		0,56	1,25	1,25	1,06
44	17,38	34,94	16,63	1309,19	5,13	26,31	1,06	3,06	8,38	5,25	11,06
51	17,81	13	20,06	1139,44	5	58,06		0,56	11,13	0,5	5,19
53	2,75	1,5	1,44	273	2,31	26,94		0,25	1,94	2,5	0,44
60	0,81	0,69	0,94	57,75	0,44	4,44			1,06	0,56	
61	0,44	3,81	5,19	1289,94	6,5	38,63		4,75	2,75	3,31	
	1258,77	1017	1260	46599,45	360,6	1243	48,4	150	500,8	221,1	348,3

Kokonaisfosforihuuhtouma (kg P^{a-1})

Yleistetty maankäyttöluokka/Vesistöalue	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Kerrostaloalueet	2	11	5	616	2	22	0	0	2	1	1
Pientaloalueet	294	222	289	9777	81	242	11	34	113	48	79
Keskusta-alueet	31	77	41	2793	13	86	1	5	20	21	22
Teollisuus- ja varastoalueet	18	12	18	1215	6	73	0	1	11	3	5
Liikennealueet	1	2	3	553	3	18	0	2	2	2	0
Rakentamisen alaiset alueet											
Yhteensä	345	325	356	14952	105	440	13	42	148	74	107

Luonnonhuuhtouma (kg P^{a-1})

Yleistetty maankäyttöluokka/Vesistöalue	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Kerrostaloalueet	0	2	1	114	0	4	0	0	0	0	0
Pientaloalueet	85	64	83	2816	23	70	3	10	32	14	23
Keskusta-alueet	2	4	2	138	1	4	0	0	1	1	1
Teollisuus- ja varastoalueet	1	1	2	99	1	6	0	0	1	0	0
Liikennealueet	0	0	0	94	0	3	0	0	0	0	0
Rakentamisen alaiset alueet											
Yhteensä	88	71	88	3262	25	87	3	10	35	15	24

Ihmisen aiheuttama fosforihuuhtouma (kg P^{a-1})

Yleistetty maankäyttöluokka/Vesistöalue	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Kerrostaloalueet	2	9	4	502	1	18	0	0	2	0	1
Pientaloalueet	209	158	206	6960	57	172	8	24	80	34	56
Keskusta-alueet	30	74	39	2654	13	81	1	5	19	20	21
Teollisuus- ja varastoalueet	16	11	17	1116	6	67	0	1	10	2	4
Liikennealueet	0	2	2	458	2	15	0	2	1	1	0
Rakentamisen alaiset alueet											
Yhteensä	257	254	268	11690	80	353	10	31	113	59	82

Kokonaistyyppihiuhtouma (kg N^{a-1})

Yleistetty maankäyttöluokka/Vesistöalue	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Kerrostaloalueet	44	258	119	14389	41	511	0	0	56	12	16
Pientaloalueet	5990	4524	5890	199154	1644	4934	234	697	2294	979	1610
Keskusta-alueet	159	397	211	14308	69	439	8	26	102	110	113
Teollisuus- ja varastoalueet	60	42	62	4096	21	247	0	2	38	9	16
Liikennealueet	4	14	18	4043	21	129	0	14	11	12	0
Rakentamisen alaiset alueet											
Yhteensä	6256	5235	6300	235990	1796	6259	242	740	2502	1121	1756

Luonnonhuuhtouma (kg N a⁻¹)

Yleistetty maankäyttöluokka/Vesistöalue	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Kerrostaloalueet	10	58	27	3257	9	116	0	0	13	3	4
Pientaloalueet	2420	1828	2380	80466	664	1993	95	282	927	396	651
Keskusta-alueet	44	110	58	3947	19	121	2	7	28	30	31
Teollisuus- ja varastoalueet	41	29	43	2825	15	170	0	2	26	6	11
Liikennealueet	3	9	12	2695	14	86	0	10	8	8	0
Rakentamisen alaiset alueet											
Yhteensä	2518	2034	2520	93191	721	2486	97	300	1002	442	697

Ihmisen aiheuttama typpihuuhtouma (kg N a⁻¹)

Yleistetty maankäyttöluokka/Vesistöalue	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Kerrostaloalueet	34	200	92	11132	32	396	0	0	44	9	12
Pientaloalueet	3570	2696	3510	118688	980	2940	140	415	1367	583	960
Keskusta-alueet	115	287	153	10361	50	318	6	19	74	79	82
Teollisuus- ja varastoalueet	19	13	19	1271	7	77	0	1	12	3	5
Liikennealueet	1	5	6	1348	7	43	0	5	4	4	0
Rakentamisen alaiset alueet											
Yhteensä	3738	3201	3780	142799	1075	3773	145	440	1501	679	1059

Kiintoainehuuhtouma (10³ kg a⁻¹)

Yleistetty maankäyttöluokka/Vesistöalue	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Kerrostaloalueet	1	6	3	349	1	12	0	0	1	0	0
Pientaloalueet	117	88	115	3888	32	96	5	14	45	19	31
Keskusta-alueet	10	25	13	888	4	27	0	2	6	7	7
Teollisuus- ja varastoalueet	16	11	17	1116	6	67	0	1	10	2	4
Liikennealueet	0	2	2	499	3	16	0	2	1	1	0
Yhteensä	145	132	150	6739	46	219	5	18	64	30	43

CODCr -huuhtouma (10³ kg O₂ a⁻¹)

Yleistetty maankäyttöluokka/Vesistöalue	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Kerrostaloalueet	1	5	2	269	1	10	0	0	1	0	0
Pientaloalueet	133	101	131	4426	37	110	5	15	51	22	36
Keskusta-alueet	9	20	10	728	3	17	0	2	5	4	6
Teollisuus- ja varastoalueet	4	3	4	268	1	16	0	0	2	1	1
Liikennealueet	0	1	2	377	2	12	0	1	1	1	0
Yhteensä	147	129	148	6068	44	165	6	19	60	28	43

BOD -huuhtouma (10³ kg O₂ a⁻¹)

Yleistetty maankäyttöluokka/Vesistöalue	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Kerrostaloalueet	0	1	0	31	0	1	0	0	0	0	0
Pientaloalueet	18	14	18	603	5	15	1	2	7	3	5
Keskusta-alueet	1	4	2	134	1	4	0	0	1	1	1
Teollisuus- ja varastoalueet	1	1	1	49	0	3	0	0	0	0	0
Liikennealueet	0	0	0	38	0	1	0	0	0	0	0
Yhteensä	20	19	21	856	6	24	1	3	9	4	6

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
						1,13									
8,06	0,38	1520,38	6,25	22,06	0,44	293,69	21,19	14,06	1192,6	54	130,63	19,13	85,56	21,88	36,63
16,88	7,69	1735,94	35,06	25,81	0,56	166,94	53,44	24,81	971,31	116,88	165,94	29,69	116,7	35,88	100
490,4	615,6	35435,19	611,2	1358	604,8	3992	2140,8	1291	11455	2116,9	4663,1	1455	1396	565,6	1911,9
0,38	1,63	403,56	3	5,63	1,5	40,81	14,5	3,38	181,25	29,13	32,25	3,25	29,31	6,63	19,19
	0,63	163	0,38	3,31	1,56	16,69	4,81	1,69	122,81	11	15,25	3,25	9,19	1,38	6,44
14,63	13	1108,44	13,13	27,75	7,25	119,19	37,63	20,94	475,56	44,25	116,56	24,81	54,69	19,94	48,69
3,25	11,75	1249,44	27,13	57,56	11,5	261,88	54,94	16,56	727,94	102,25	138,69	46,69	99,13	17,88	65,81
0,88	1	262,38	3,38	7,88	2,5	57,13	15,5	1,88	323,38	22,38	20,13	3,06	21,81	11,81	14
		50,88	0,56	2,19	0,94	6,88	2,5	0,81	27,69	2,75	5,38	1	3,5	1,88	2,56
4,44	18,19	1018,44	4	20,81	3,44	95,75	13,81	20,63	708	64,19	99,75	3,06	5,88		28,81
538,9	669,8	42947,65	704,1	1531	634,5	5052,1	2359,1	1396	16186	2563,7	5387,6	1589	1822	682,8	2234

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
3	0	575	2	8	0	111	8	5	451	20	49	7	32	8	14
123	151	9033	157	336	147	1011	533	320	3020	543	1173	361	368	146	489
21	22	2370	23	52	15	250	81	37	1103	119	232	44	132	40	105
4	11	1300	26	56	12	274	61	16	904	107	137	43	104	26	69
2	7	438	2	9	2	42	7	9	302	27	43	2	4	1	13
153	192	13716	211	462	176	1688	689	387	5779	817	1635	457	640	220	689

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
1	0	106	0	2	0	21	1	1	83	4	9	1	6	2	3
36	44	2602	45	97	42	291	154	92	870	156	338	104	106	42	141
1	1	117	1	3	1	12	4	2	55	6	11	2	7	2	5
0	1	106	2	5	1	22	5	1	74	9	11	3	8	2	6
0	1	75	0	2	0	7	1	2	51	5	7	0	1	0	2
38	47	3006	49	107	44	354	165	98	1133	179	377	111	128	48	156

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
2	0	468	2	7	0	90	7	4	367	17	40	6	26	7	11
88	108	6431	112	239	105	719	380	228	2150	386	835	257	262	104	348
20	21	2253	22	49	14	238	77	35	1049	113	221	42	125	38	100
3	10	1194	24	52	11	252	56	15	831	98	125	39	96	23	63
2	6	364	2	8	1	35	6	7	250	23	36	1	3	1	11
115	145	10710	162	355	131	1335	524	289	4646	638	1258	346	512	172	533

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
71	3	13433	55	195	4	2595	187	124	10537	477	1154	169	756	193	324
2511	3085	183997	3199	6847	2997	20587	10862	6515	61510	11057	23904	7350	7488	2977	9959
109	111	12144	120	266	75	1281	413	189	5652	612	1189	227	676	203	539
12	37	4384	88	190	41	925	204	53	3049	361	461	144	351	86	231
13	55	3208	14	69	13	308	49	64	2207	201	315	12	28	6	94
2716	3291	217166	3476	7567	3129	25696	11715	6946	82955	12708	27023	7903	9298	3465	11147

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
16	1	3041	13	44	1	587	42	28	2385	108	261	38	171	44	73
1015	1247	74342	1293	2767	1211	8318	4389	2633	24853	4468	9658	2970	3025	1203	4024
30	31	3350	33	73	21	353	114	52	1559	169	328	63	186	56	149
8	26	3024	61	131	28	638	141	37	2103	249	318	100	242	59	160
9	36	2139	9	46	9	205	33	43	1471	134	210	8	19	4	63
1078	1340	85895	1408	3061	1269	10102	4718	2792	32371	5127	10775	3178	3644	1366	4468

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
55	3	10392	43	151	3	2007	145	96	8152	369	893	131	585	150	250
1496	1839	109655	1906	4081	1786	12269	6473	3883	36657	6590	14246	4381	4462	1774	5935
79	80	8794	87	193	54	928	299	137	4093	443	861	164	489	147	390
4	11	1361	27	59	13	287	63	17	946	112	143	45	109	27	72
4	18	1069	5	23	4	103	16	21	736	67	105	4	9	2	31
1638	1951	131270	2068	4506	1860	15594	6997	4154	50584	7581	16248	4725	5655	2099	6679

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
2	0	326	1	5	0	63	5	3	256	12	28	4	18	5	8
49	60	3592	62	134	58	402	212	127	1201	216	467	143	146	58	194
7	7	754	7	17	5	80	26	12	351	38	74	14	42	13	33
3	10	1194	24	52	11	252	56	15	831	98	125	39	96	23	63
2	7	396	2	9	2	38	6	8	272	25	39	2	3	1	12
62	84	6262	97	215	76	834	304	164	2910	389	733	202	305	100	310

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
1	0	251	1	4	0	48	3	2	197	9	22	3	14	4	6
56	69	4089	71	152	67	457	241	145	1367	246	531	163	166	66	221
7	6	617	6	15	4	66	21	11	289	28	63	13	32	10	27
1	2	287	6	12	3	61	13	4	200	24	30	9	23	6	15
1	5	299	1	6	1	29	5	6	206	19	29	1	3	1	9
66	82	5543	86	189	75	661	284	167	2259	325	675	190	238	86	278

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
0	0	29	0	0	0	6	0	0	23	1	2	0	2	0	1
8	9	558	10	21	9	62	33	20	186	34	72	22	23	9	30
1	1	114	1	2	1	12	4	2	53	6	11	2	6	2	5
0	0	53	1	2	0	11	2	1	37	4	6	2	4	1	3
0	1	30	0	1	0	3	0	1	21	2	3	0	0	0	1
9	11	783	12	27	10	94	40	23	319	47	95	27	35	12	40

28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
461,63	3,88	3,69		19,25	2,13	29,63	1959,81	37,63	2,94	1,06	9,94	3,06	13,19	158,5	2,25
286,63	25,56	21,19	2,63	41,19	15,13	88,06	2137,63	95,38	15,19	20	20,25	7,06	27,13	396,06	1,31
3053,6	791	544,6	275,4	905,4	756,8	2340,1	41531,25	3502,9	719,1	584,1	1037	520,4	857,3	6595,3	107
53,81	2,69	3,44		10,5	0,81	20,56	498,94	19,75	4,31	2,56	18,13	5,19	6,25	108,31	
36,94	4	1,13		2,5	1,88	17,69	215,13	12	1,88	2,31	5,25	1,56	3	36,56	
216,31	14,25	9,63	3,88	21,56	12,88	49,31	1398,63	93,25	16,13	22,25	23,38	11,19	20,38	223	1,5
217,75	13,88	14,31	4	55,06	23,5	86,88	2083,69	124,38	30,63	26,38	32,25	6,88	28,75	278,56	2
81,56	6,13	2,56		6,88	4,19	20,25	468	16,5	4,88	2,06	9,38	1,75	11,5	76,38	1,38
18,56	2,25			0,63	0,38	1,75	72,31	2,94		0,38	1,88		1,63	10,38	
128,69	2,69	9	1,13	6,81	3,94	22,19	1323,31	70,19		1,25	0,13		14,06	70,5	
4555,4	866,3	609,5	287,1	1070	821,6	2676,4	51688,7	3974,9	795,1	662,3	1158	557,1	983,1	7953,5	115

28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
174	1	1	0	7	1	11	741	14	1	0	4	1	5	60	1
812	198	137	68	230	188	590	10612	874	178	147	257	128	215	1699	26
434	30	20	5	49	22	124	2989	177	32	38	66	25	42	521	2
257	17	15	3	53	24	92	2194	121	31	24	36	7	35	305	3
60	2	4	0	3	2	10	572	30	0	1	1	0	6	33	0
1738	249	177	77	343	236	827	17108	1217	242	211	363	162	303	2618	32

28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
32	0	0	0	1	0	2	137	3	0	0	1	0	1	11	0
234	57	40	19	66	54	170	3057	252	51	42	74	37	62	489	3
21	1	1	0	2	1	6	148	9	2	2	3	1	2	26	0
21	1	1	0	4	2	7	179	10	2	2	3	1	3	25	0
10	0	1	0	1	0	2	98	5	0	0	0	0	1	6	0
319	61	43	20	75	58	187	3618	278	56	46	81	39	69	557	3

28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
142	1	1	0	6	1	9	604	12	1	0	3	1	4	49	1
578	141	98	48	164	134	420	7555	622	127	105	183	91	153	1209	23
413	28	19	5	46	21	118	2842	168	30	36	63	24	40	495	2
236	16	13	3	49	22	85	2016	111	28	22	33	7	32	280	3
50	2	3	0	3	1	8	475	25	0	1	1	0	5	27	0
1420	188	134	57	268	178	640	13490	938	186	164	282	123	234	2061	29

28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
4079	34	33	0	170	19	262	17315	332	26	9	88	27	117	1400	20
16534	4042	2800	1376	4686	3821	12019	216161	17811	3635	2990	5234	2611	4378	34607	534
2226	152	103	28	251	113	635	15317	906	162	197	339	130	215	2667	11
868	58	49	12	180	80	311	7400	409	103	82	121	25	117	1029	10
442	15	27	3	22	13	72	4187	219	0	5	6	0	47	243	0
24148	4301	3012	1420	5308	4046	13298	260380	19678	3926	3283	5788	2793	4873	39946	574

28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
923	8	7	0	39	4	59	3920	75	6	2	20	6	26	317	2
6680	1633	1132	556	1893	1544	4856	87338	7197	1469	1208	2115	1055	1769	13983	81
614	42	28	8	69	31	175	4225	250	45	54	94	36	59	736	1
599	40	34	8	124	55	214	5103	282	71	57	83	17	81	710	3
295	10	18	2	15	9	48	2791	146	0	3	4	0	31	162	0
9111	1733	1219	574	2140	1643	5353	103377	7950	1590	1325	2315	1114	1966	15907	86

28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
3155	27	25	0	132	15	203	13395	257	20	7	68	21	90	1083	18
9854	2409	1669	820	2793	2277	7163	128823	10615	2166	1782	3119	1556	2609	20624	453
1612	110	75	20	181	82	460	11092	656	117	142	245	94	156	1931	10
269	18	15	4	56	25	96	2297	127	32	26	37	8	36	319	7
147	5	9	1	7	4	24	1396	73	0	2	2	0	16	81	0
15037	2568	1793	845	3169	2403	7946	157002	11728	2335	1959	3472	1679	2907	24039	488

28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
99	1	1	0	4	0	6	420	8	1	0	2	1	3	34	0
323	79	55	27	91	75	235	4220	348	71	58	102	51	85	676	10
138	9	6	2	16	7	39	951	56	10	12	21	8	13	166	1
236	16	13	3	49	22	85	2016	111	28	22	33	7	32	280	3
54	2	3	0	3	2	9	516	27	0	1	1	0	6	30	0
851	107	79	32	163	106	374	8123	550	110	94	159	67	139	1185	14

28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
76	1	1	0	3	0	5	323	6	0	0	2	1	2	26	0
367	90	62	31	104	85	267	4804	396	81	66	116	58	97	769	12
120	9	5	2	12	7	32	781	50	9	11	15	6	11	129	1
57	4	3	1	12	5	20	485	27	7	5	8	2	8	67	1
41	1	3	0	2	1	7	391	20	0	0	1	0	4	23	0
662	104	74	33	133	98	331	6784	499	97	84	141	66	123	1014	14

28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
9	0	0	0	0	0	1	37	1	0	0	0	0	0	3	0
50	12	8	4	14	12	36	655	54	11	9	16	8	13	105	2
21	1	1	0	2	1	6	144	9	2	2	3	1	2	25	0
10	1	1	0	2	1	4	89	5	1	1	1	0	1	12	0
4	0	0	0	0	0	1	39	2	0	0	0	0	0	2	0
94	15	10	5	19	14	47	964	70	14	12	21	9	17	148	2

44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
60		2,06	11,06	2,06	1,81	2,38	1,19		42,63	27,63			5,06	1,81	466,19	9,88
167,5	0,19	12,38	54,75	6,63	41,19	10,5	43,31		149,44	129,5	0,31		60,44	34	583,06	79,13
4049,1	136	481,5	1813,4	485,8	1499	305,1	845,5	63,4	4065,3	2735,4	71,8	57,3	1600	749,8	8059,6	1579
68,06	0,19	4,81	26,31	3,38	9,75	1,56	8,38		45,69	22,69	0,25		6,94	2,13	90,69	13,13
20,38		2,19	8,38	1,31	4,19	1,06	3,44		13,75	6,56			7,25	2,25	54,06	7,44
134,81	1,31	12,81	51,06	17,06	35,44	8,69	32,94	1	105,31	90,38		1,19	47,38	27,25	388,19	52,75
180,25	7,63	16,38	76,81	26,63	35,88	7,38	15,69	0,44	69,25	48,19			30,44	13,94	201,25	29,5
37,44	1,19	1,88	15,5	4,94	8,31	2,63	5,75		16,38	10			14,56	3,13	52,5	9,44
6,44	0,25		1,56				1,25		1,88	3,38			0,75	1,13	12,94	0,5
44,94	2,06	1,13	36,25	11,13	27,44				6,38	14,69				1,13	149,5	11,38
4769	148	535,1	2095,1	559	1663	339,3	957,5	64,9	4516	3088,4	72,4	58,5	1773	836,5	10058	1792

44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
23	0	1	4	1	1	1	0	0	16	10	0	0	2	1	176	4
1025	33	120	454	120	374	77	216	15	1024	696	18	14	404	190	2100	403
316	2	28	121	31	70	16	63	1	233	169	0	2	87	45	754	104
187	8	16	79	27	38	9	18	0	74	50	0	0	39	15	218	33
21	1	0	16	5	11	0	1	0	3	7	0	0	0	1	67	5
1571	44	165	674	183	494	102	299	17	1350	933	18	16	532	251	3315	549

44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	14	0
126	4	15	56	15	46	9	27	2	126	86	2	2	50	24	259	50
7	0	1	3	1	1	0	1	0	5	4	0	0	2	1	16	2
7	0	1	3	1	1	0	1	0	3	2	0	0	1	1	8	1
2	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	5	0
143	4	16	63	17	50	10	29	2	135	93	2	2	53	25	302	54

44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
21	0	1	4	1	1	1	0	0	15	10	0	0	2	1	162	3
898	29	105	398	105	328	67	189	14	898	610	15	12	354	167	1841	353
309	2	27	119	30	68	16	62	1	228	166	0	2	85	44	738	102
181	7	15	77	26	37	8	18	0	71	48	0	0	37	14	211	32
20	1	0	14	4	10	0	0	0	3	7	0	0	0	1	62	5
1428	39	149	612	166	444	92	270	15	1215	841	16	14	478	226	3014	495

44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
530	0	18	98	18	16	21	11	0	377	244	0	0	45	16	4119	87
20872	672	2445	9247	2438	7623	1562	4400	314	20863	14181	357	284	8220	3880	42781	8207
1619	11	144	622	158	358	82	325	7	1194	867	2	9	446	229	3864	532
631	26	53	268	92	128	29	62	1	248	169	0	0	131	50	736	113
154	7	3	113	33	82	0	4	0	25	54	0	0	2	7	487	36
23806	715	2663	10348	2738	8207	1694	4801	323	22707	15516	359	292	8844	4181	51987	8975

44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
45	0	2	8	2	1	2	1	0	32	21	0	0	4	1	350	7
3162	102	370	1401	369	1155	237	667	48	3161	2149	54	43	1245	588	6482	1244
167	1	15	64	16	37	8	34	1	124	90	0	1	46	24	400	55
163	7	14	69	24	33	8	16	0	64	44	0	0	34	13	190	29
39	2	1	28	8	21	0	1	0	6	14	0	0	1	2	122	9
3577	111	401	1571	419	1247	254	718	49	3387	2316	54	44	1330	627	7543	1344

44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
485	0	17	89	17	15	19	10	0	345	223	0	0	41	15	3769	80
17710	570	2074	7846	2068	6468	1325	3733	266	17702	12032	303	241	6974	3292	36299	6964
1451	10	129	557	141	321	74	291	7	1071	778	2	8	400	206	3464	477
468	19	39	198	68	95	22	46	1	184	125	0	0	97	37	546	84
116	5	3	85	25	62	0	3	0	19	41	0	0	2	5	365	27
20230	604	2262	8776	2319	6960	1440	4082	274	19320	13199	305	248	7514	3554	44443	7631

44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
13	0	0	2	0	0	1	0	0	9	6	0	0	1	0	100	2
407	13	48	181	48	149	30	86	6	407	277	7	6	160	76	835	160
100	1	9	39	10	22	5	20	0	74	54	0	1	28	14	240	33
172	7	14	73	25	35	8	17	0	68	46	0	0	36	13	200	31
19	1	0	14	4	10	0	0	0	3	7	0	0	0	1	60	4
712	22	72	308	87	216	44	124	7	561	389	7	6	225	105	1435	230

44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
10	0	0	2	0	0	0	0	0	7	5	0	0	1	0	77	2
464	15	54	205	54	169	35	98	7	464	315	8	6	183	86	951	182
77	1	7	30	9	19	5	17	0	59	46	0	1	25	14	209	29
41	2	3	18	6	8	2	4	0	16	11	0	0	9	3	48	7
14	1	0	11	3	8	0	0	0	2	5	0	0	0	1	45	3
607	18	66	265	72	205	42	120	8	548	382	8	7	218	104	1330	223

44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	9	0
63	2	7	28	7	23	5	13	1	63	43	1	1	25	12	130	25
15	0	1	6	1	3	1	3	0	11	8	0	0	4	2	36	5
8	0	1	3	1	2	0	1	0	3	2	0	0	2	1	9	1
1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	5	0
89	3	9	38	10	29	6	17	1	78	54	1	1	31	15	188	32

61	62	63	64	65	66	67	68	69	71	72	73	74
21,88			0,88	236,81		57,5	0,56		4,88	7,5	5,25	32,75
68,31	0,69	3,5	8,44	318,81	3,19	70,19	7,94	0,69	26,38	5,75	17	59,69
2885	76,2	275	481,5	8091,4	312,2	3489,1	231,9	66,5	823,4	8,44	921,8	749,3
18,81			1,06	83,56	7,38	42,63	4,5	0,56	16,19	11,1	7,44	9,5
7,75		0,06	2,38	41,88	0,5	10,94	2,56		7,44		1,13	2,69
77,5	0,81	3,5	13,25	271,94	6,69	79,56	7,44	1,81	23	0,38	19,38	16
40,44		4,75	3,88	127	4	51,44	2,19	0,38	12,19	2,94	15,88	21,31
11,44		0,94	0,63	26,25	0,38	10,06	1,31		2,63		1,88	3
1,25				10,75	0,44	4,38	0,5		0,88		0,31	0,25
7,56			3,25	286,06	0,81	70,13			2,69		2,19	15,56
3139,9	77,7	287,8	515,3	9494,4	335,6	3885,9	258,9	69,9	919,7	36,1	992,3	910,1

61	62	63	64	65	66	67	68	69	71	72	73	74
8	0	0	0	90	0	22	0	0	2	3	2	12
718	19	68	119	2044	77	865	58	16	206	3	228	197
147	1	5	24	562	21	188	21	3	66	16	40	40
45	0	5	4	132	4	53	3	0	13	3	15	21
4	0	0	1	122	1	31	0	0	1	0	1	6
921	20	78	148	2949	102	1158	82	20	289	25	286	276

61	62	63	64	65	66	67	68	69	71	72	73	74
1	0	0	0	7	0	2	0	0	0	0	0	1
89	2	8	15	252	9	107	7	2	25	0	28	24
3	0	0	1	12	0	4	0	0	1	0	1	1
2	0	0	0	5	0	2	0	0	0	0	1	1
0	0	0	0	9	0	2	0	0	0	0	0	0
94	2	9	15	285	10	117	8	2	28	1	30	27

61	62	63	64	65	66	67	68	69	71	72	73	74
8	0	0	0	82	0	20	0	0	2	3	2	11
629	16	59	104	1791	67	758	51	14	181	3	200	172
144	1	5	23	550	20	184	20	3	65	16	39	39
43	0	5	4	127	4	51	3	0	12	2	15	20
3	0	0	1	113	0	28	0	0	1	0	1	6
827	17	69	133	2664	91	1042	74	18	261	24	256	249

61	62	63	64	65	66	67	68	69	71	72	73	74
193	0	0	8	2092	0	508	5	0	43	66	46	289
14619	381	1379	2425	41630	1561	17618	1187	333	4206	70	4647	4005
754	6	26	121	2881	106	965	105	17	338	83	203	204
150	0	17	13	444	13	178	10	1	43	9	52	70
26	0	0	10	890	4	224	2	0	11	0	8	47
15744	386	1421	2577	47939	1683	19493	1309	351	4641	228	4955	4616

61	62	63	64	65	66	67	68	69	71	72	73	74
16	0	0	1	178	0	43	0	0	4	6	4	25
2215	58	209	367	6308	237	2669	180	50	637	11	704	607
78	1	3	13	298	11	100	11	2	35	9	21	21
39	0	4	3	115	3	46	3	0	11	2	13	18
7	0	0	2	223	1	56	0	0	3	0	2	12
2355	58	216	386	7121	252	2914	194	52	690	27	744	683

61	62	63	64	65	66	67	68	69	71	72	73	74
177	0	0	7	1915	0	465	5	0	39	61	42	265
12404	323	1170	2058	35323	1325	14949	1007	282	3569	60	3943	3398
676	5	23	108	2583	95	865	94	15	303	75	182	183
112	0	12	10	329	9	132	8	1	32	6	38	52
20	0	0	7	668	3	168	1	0	8	0	6	36
13389	328	1205	2190	40818	1432	16579	1115	298	3951	201	4211	3934

61	62	63	64	65	66	67	68	69	71	72	73	74
5	0	0	0	51	0	12	0	0	1	2	1	7
285	7	27	47	813	30	344	23	6	82	1	91	78
47	0	2	8	179	7	60	7	1	21	5	13	13
41	0	4	4	121	3	49	3	0	12	2	14	19
3	0	0	1	110	0	28	0	0	1	0	1	6
381	8	33	60	1273	41	492	33	8	117	10	119	123

61	62	63	64	65	66	67	68	69	71	72	73	74
4	0	0	0	39	0	9	0	0	1	1	1	5
325	8	31	54	925	35	392	26	7	93	2	103	89
40	0	2	7	150	4	45	5	1	15	1	10	9
10	0	1	1	29	1	12	1	0	3	1	3	5
2	0	0	1	83	0	21	0	0	1	0	1	4
381	9	33	63	1227	40	479	32	8	114	5	118	113

61	62	63	64	65	66	67	68	69	71	72	73	74
0	0	0	0	4	0	1	0	0	0	0	0	1
44	1	4	7	126	5	53	4	1	13	0	14	12
7	0	0	1	27	1	9	1	0	3	1	2	2
2	0	0	0	5	0	2	0	0	1	0	1	1
0	0	0	0	8	0	2	0	0	0	0	0	0
54	1	5	9	171	6	68	5	1	17	1	17	16

Maankäyttöluokkien varaama ala (ha)

Yleistetty maankäyttöluokka/Vesistöalue	81	82	83	84	86	Koko Suomi
10	3,19					8,38
11	3267,88	602,44	411,19	487,19		13654,43
13	1511,38	552,88	297,81	725,25		14060,16
14	14254,13	7754,5	7214,3	10382	36,4	264717,01
42	245,44	108,81	88	176,69		3201,51
43	412,06	56,81	40,81	90,56	0,44	1728,69
44	1247,69	247	214,69	417,06	1,06	9378,71
51	940,56	513,81	357	497,06		10546,54
53	407,25	129,13	92,31	133,94		2800,37
60	70,75	27,25	12,5	26,44		475,08
61	1291,5	211,25	275,75	349,31		7940,5
	23651,83	10204	9004,3	13286	37,9	328511,38

Kokonaisfosforihuuhtouma (kg P a-1)

Yleistetty maankäyttöluokka/Vesistöalue	81	82	83	84	86	Koko Suomi
Kerrostaloalueet	1235	228	155	184	0	5161
Pientaloalueet	3831	2019	1825	2699	9	67743
Keskusta-alueet	2696	584	486	968	2	20247
Teollisuus- ja varastoalueet	1159	553	386	543	0	11478
Liikennealueet	559	98	118	154	0	3450
Rakentamisen alaiset alueet						4532
Yhteensä	9480	3481	2972	4548	11	112612

Luonnonhuuhtouma (kg P a-1)

Yleistetty maankäyttöluokka/Vesistöalue	81	82	83	84	86	Koko Suomi
Kerrostaloalueet	229	42	29	15	0	896
Pientaloalueet	1104	582	526	333	1	17106
Keskusta-alueet	133	29	24	21	0	884
Teollisuus- ja varastoalueet	94	45	31	19	0	857
Liikennealueet	95	17	20	11	0	544
Rakentamisen alaiset alueet						557
Yhteensä	1655	714	630	399	1	20288

Ihmisen aiheuttama fosforihuuhtouma (kg P a-1)

Yleistetty maankäyttöluokka/Vesistöalue	81	82	83	84	86	Koko Suomi
Kerrostaloalueet	1007	186	127	170	0	4265
Pientaloalueet	2727	1437	1300	2366	8	50637
Keskusta-alueet	2562	555	462	948	2	19363
Teollisuus- ja varastoalueet	1065	508	355	524	0	10621
Liikennealueet	463	81	98	143	0	2906
Rakentamisen alaiset alueet						3976
Yhteensä	7824	2767	2341	4150	10	92324

Kokonaistyyppihuuhtouma (kg N a-1)

Yleistetty maankäyttöluokka/Vesistöalue	81	82	83	84	86	Koko Suomi
Kerrostaloalueet	28872	5323	3633	4304	0	120637
Pientaloalueet	78039	41122	37185	54982	180	1379947
Keskusta-alueet	13813	2991	2490	4961	11	103740
Teollisuus- ja varastoalueet	3909	1865	1303	1830	0	38706
Liikennealueet	4087	716	865	1127	0	25247
Rakentamisen alaiset alueet						45315
Yhteensä	128719	52016	45476	67205	191	1713591

Luonnonhuuhtouma (kg N a-1)

Yleistetty maankäyttöluokka/Vesistöalue	81	82	83	84	86	Koko Suomi
Kerrostaloalueet	6536	1205	822	365	0	25445
Pientaloalueet	31531	16615	15024	8331	27	482276
Keskusta-alueet	3810	825	687	513	1	24952
Teollisuus- ja varastoalueet	2696	1286	899	473	0	24291
Liikennealueet	2725	477	577	282	0	15433
Rakentamisen alaiset alueet						15900
Yhteensä	47297	20408	18009	9964	28	572397

Ihmissen aiheuttama typpihuhtouma (kg N a-1)

Yleistetty maankäyttöluokka/Vesistöalue	81	82	83	84	86	Koko Suomi
Kerrostaloalueet	22336	4118	2810	3939	0	95192
Pientaloalueet	46508	24507	22161	46652	153	897671
Keskusta-alueet	10002	2166	1803	4448	10	78787
Teollisuus- ja varastoalueet	1213	579	404	1357	0	14415
Liikennealueet	1362	239	288	845	0	9814
Rakentamisen alaiset alueet						29415
Yhteensä	81422	31608	27467	57241	163	1141195

Kiintoainehuuhtouma (103 kg a-1)

Yleistetty maankäyttöluokka/Vesistöalue	81	82	83	84	86	Koko Suomi
Kerrostaloalueet	701	129	88	105	0	2929
Pientaloalueet	1523	803	726	1073	4	26937
Keskusta-alueet	857	186	155	308	1	6439
Teollisuus- ja varastoalueet	1065	508	355	498	0	10544
Liikennealueet	504	88	107	139	0	3114
Yhteensä	4650	1714	1430	2123	4	49963

CODCr -huuhtouma (103 kg O2 a-1)

Yleistetty maankäyttöluokka/Vesistöalue	81	82	83	84	86	Koko Suomi
Kerrostaloalueet	539	99	68	80	0	2253
Pientaloalueet	1734	914	826	1222	4	30665
Keskusta-alueet	774	149	125	248	1	5350
Teollisuus- ja varastoalueet	256	122	85	120	0	2536
Liikennealueet	381	67	81	105	0	2356
Yhteensä	3685	1351	1185	1775	5	43161

BOD -huuhtouma (103 kg O2 a-1)

Yleistetty maankäyttöluokka/Vesistöalue	81	82	83	84	86	Koko Suomi
Kerrostaloalueet	62	11	8	9	0	259
Pientaloalueet	236	125	113	167	1	4182
Keskusta-alueet	130	28	23	47	0	973
Teollisuus- ja varastoalueet	47	23	16	22	0	467
Liikennealueet	38	7	8	11	0	236
Yhteensä	513	193	168	255	1	6117

Luonnonhuuhtouman osuus kokonaisfosforihuhtoumasta 0,18

Luonnonhuuhtouman osuus kokonaistypihuhtoumasta 0,33

Aluerajaus

- koskee kaavoitettuja alueita
- nykyiset järjestelmät ja niiden rajaukset pohjana
- vanhoilla alueilla nykyisten järjestelmien ylläpitäjien esitettävä suunnitelma
- uusilla alueilla kaavassa määrätään vastuutaho
- suunnittelualueen koko voi pienimmillään olla yksi kiinteistö

Vastuutaho ja suunnitelman esittämisvelvollisuus

- uusilla alueilla määrätään kaavassa vaihtoehtoisesti kiinteistö tai ryhmä kiinteistöjä, kunnan katuosasto tai vesihuoltolaitos
- vanhoilla alueilla vastuutaho on ensisijaisesti järjestelmän nykyinen ylläpitäjä. Rakennusvalvonta voi lisäksi määrätä kuka suunnitelman esittää. Lopullinen vastuutaho esitetään suunnitelmassa
- sikäli kun hule- ja kuivatusvesien johtaminen kuuluu vesihuoltolaitoksen vastuulle, suunnitelma esitetään ympäristöluvan uusimisen yhteydessä
- muut toimijoille, kuten kunnan organisaatioille ja yksityisille järjestelmille suunnitelman esittämiselle annetaan kolmen vuoden pituinen määräaika
- mikäli yksittäinen kiinteistö johtaa vedet itse liitetään suunnitelma rakennuslupahakemukseen

Sisältö

- selostetaan ja esitetään kartalla keruu- ja johtamisjärjestelmä sisältäen avo-ojat, putket, sakokaivot ja purkupaikat sekä tulvahuippujen tasausalueet tai -altaat
- kuvaus ja sijaintipiirros kustakin purkupaikasta ja lumenkaatopaikasta
- esitetään arvio vesimäärästä ja maininta erityisistä haitta-aineista. Vesimääräarviossa on otettava huomioon myös runsaan sadannan aiheuttamat tulvahuiput
- esitetään suunnitelma vesimäärien ja haitta-ainepitoisuuksien sekä purkupaikan veden pilaantumisen seurannasta tai perusteet, miksi seurantaa ei tarvita
- maksut ja niiden määräytymisperusteet

Kustannukset

- kustannukset katetaan aiheuttamisperiaatteen mukaisesti suunnitelma-aluekohtaisesti
- maksuperusteena joko:
- kiinteistökohtainen liittymismaksu
- pinta-alaperusteinen maksu, jossa ainakin kolme maksuluokkaa: rakennetut tontit, puistot, liikennealueet
- tai edellisten yhdistelmä
- maksuperusteet esitetään suunnitelmassa ja suunnittelualueesta vastuussa oleva taho kerää maksut
- vapautus, jos kiinteistö huolehtii itse vesien johtamisesta (analogia jätevesimaksuun)

Ympäristönsuojelullinen kontrolli ja käsittelytarve

- YSL:n velvoitteiden perusteella vastuutahon oltava selvillä johtamiensa vesien laadusta ja määrästä
- YSL:n mukainen ilmoitusvelvollisuus tulisi asettaa taajamien hulevesisuunnitelmille
- ympäristönsuojeluviranomainen voi vaatia YSL:n perusteella toimenpiteitä, jos vesien johtamisesta aiheutuu haittaa, kuten samentumista, pilaantumista, rehevöitymistä tai muita pitkän aikavälin muutoksia purkuvesistössä
- haitta-aineista seurantaa vaativat etupäässä kiintoaineen ja raskasmetallien pitoisuudet sekä mahdollisesti ravinteiden liukoiset pitoisuudet
- käsittelytarve kohdistuu lähinnä virtaamahuippujen tasaamiseen ja ainehuuhtoumien vähentämiseen peruskäsittelytapoina voivat tulla kyseeseen laskeutus, saostus, suodatus ja biologinen käsittely

Kuvailulehti

Julkaisija	Ympäristöministeriö	Julkaisuaika	Kesäkuu 2005												
Tekijä(t)	Pertti Vakkilainen, Jyrki Kotola ja Jyrki Nurminen (toim.)														
Julkaisun nimi	Rakennetun ympäristön valumavedet ja niiden hallinta														
Julkaisun osat/ muut saman projektin tuottamat julkaisut	Tutkimuskokonaisuuden muut julkaisut on lueteltu liitteessä 1														
Tiivistelmä	<p>Ympäristöklusterin tutkimusohjelman toisella ohjelmakaudella kaupunkihydrologiaa ja hulevesiä tutkittiin kahdessa hankkeessa: Kaupunkivedet ja niiden hallinta RYVE sekä Hulevesiin ja kiinteistöjen kuivatuksen liittyvän lainsäädännön ja hallinnon kehittäminen.</p> <p>RYVE:ssä tutkittiin taajama-alueiden hulevesihuutoumista aiheutuvan vesistökuormituksen määrää Suomessa, kaupunkirakentamisesta johtuvia muutoksia pienillä suomalaisilla valuma-alueilla sekä rakennettujen alueiden hydrologiaa. Lainsäädäntöä ja hallinnon kehittämistä koskevassa hankkeessa laadittiin ehdotus toimenpiteistä, joilla hajanaista ja osin päällekkäistä hule- ja kuivatusvesilainsäädäntöä voidaan selkeyttää ja riitoja välttää.</p> <p>Kaupungistuminen vaikuttaa voimakkaasti valuma-alueisiin ja hydrologiaan. Haihdunnan väheneminen, pintavalunnan kasvu, pohjaveden pinnan aleneminen ja valumavesien laadun huononeminen ovat esimerkkejä kaupunkirakentamisen seurauksista. Hulevedet ovat merkittävä vesistöjen ravinnekuormittaja ja taajamien yhteyteen keskittyvän kuormituksen merkitys korostuu hulevesien purkualueilla ja purkuvesistöissä. Rakennetuilla alueilla purojen uomasto pysyy harvoin luonnontilaisena. Uomasto muuttuu sekä hydrologisten tekijöiden että muokkaustoimien johdosta. Kaikkein voimakkaimpia muutokset ovat tiiviisti rakennetuilla kerrostalo- ja teollisuusalueilla.</p> <p>Kaupungistumisen aiheuttamia hydrologisia muutoksia ja niiden synnyttämiä vesistövaikutuksia on mahdollista ehkäistä hydrologiset tekijät huomioon ottavan kaupunkisuunnittelun ja hulevedenkäsittelymenetelmien avulla.</p> <p>Hule- ja kuivatusvesien johtaminen ja hallinta on kokonaisuus, jonka osapuolina ovat kiinteistöt, kunta, vesihuoltolaitos sekä osin myös valtio. Ehdotetut toimenpiteet koskevat mm. vahingonkorvausmenetelyä, rasitteiden perustamista, hulevesiviemäreiden liittämistä kaavamääräyksiin sekä ympäristönsuojellista kontrollia.</p>														
Asiasanat	kaupunkihydrologia, hulevesi, rakennettu ympäristö, vesistövaikutukset, kiinteistöjen kuivatusvedet														
Julkaisusarjan nimi ja numero	Suomen ympäristö 776														
Julkaisun teema	Ympäristönsuojelu														
Projektihaikkeen nimi ja projektinnumero															
Rahoittaja/ toimeksiantaja	Ympäristöministeriö														
Projektiryhmään kuuluvat organisaatiot	<table><tr><td>ISSN</td><td>ISBN</td></tr><tr><td>1238-7312</td><td>951-731-318-7 (nid.) 951-731-319-5 (PDF)</td></tr><tr><td>Sivuja</td><td>Kieli</td></tr><tr><td>116</td><td>Suomi</td></tr><tr><td>Luottamuksellisuus</td><td>Hinta</td></tr><tr><td>Julkinen</td><td></td></tr></table>			ISSN	ISBN	1238-7312	951-731-318-7 (nid.) 951-731-319-5 (PDF)	Sivuja	Kieli	116	Suomi	Luottamuksellisuus	Hinta	Julkinen	
ISSN	ISBN														
1238-7312	951-731-318-7 (nid.) 951-731-319-5 (PDF)														
Sivuja	Kieli														
116	Suomi														
Luottamuksellisuus	Hinta														
Julkinen															
Julkaisun myynti/ jakaja	Edita Publishing Oy, Asiakaspalvelu, PL 800, 00043 Edita puh. 020 450 05, telefax 020 450 2380 sähköposti: asiakaspalvelu.publishing@edita.fi, www-palvelin: http://www.edita.fi/netmarket														
Julkaisun kustantaja	Ympäristöministeriö														
Painopaikka ja -aika	Oy Edita Prima Ab, Helsinki 2005														
Muut tiedot	Yhteyshenkilö ympäristöministeriössä, Jorma Kaloinen, puh. (09) 1603 9747														

Presentationssblad

Utgivare	Miljöministeriet	Datum	Juni 2005
Författare	Rakennetun ympäristön valumavedet ja niiden hallinta (Avrinningsvatten och dess hantering i byggd miljö)		
Publikationens titel	Pertti Vakkilainen, Jyrki Kotola och Jyrki Nurminen (red.)		
Publikationens delar/ andra publikationer inom samma projekt	De andra publikationerna inom projektet uppräknas i bilaga 1.		
Sammandrag	<p>Den andra programperioden i miljöklustrets forskningsprogram innehöll två projekt som behandlade stadshydrologi och dagvatten: Stadsvatten och dess hantering (RYVE) och Utvecklandet av lagstiftning som berör dagvatten och dränering av fastigheter.</p> <p>Inom ramen för RYVE-projektet undersökte man hur stor näringsbelastningen från dagvatten är på vattendragen, stadsbyggandets inverkan på små avrinningsområden i Finland och bebyggda områdens hydrologi. I projektet för utvecklandet av lagstiftning och förvaltning utarbetade man ett förslag till åtgärder för att bringa klarhet i den splittrade och delvis överlappande dagvatten- och dräneringslagstiftningen på så sätt att missförstånd och tvister elimineras.</p> <p>Stadsbebyggelsen inverkar kraftigt på avrinningsområdet och dess hydrologi. Avdunstningen avtar, ytvattenavrinningen ökar, grundvattennivån sjunker och avrinningsvattnets kvalitet blir sämre i och med ökad bebyggelse. Dagvattnets näringsämnen belastar vattendragen, vilket tydligast märks vid utfallsområdena och i det mottagande vattendraget. Inom bebyggda områden är bäckar och åar sällan i naturstillstånd. Flodfåror förändras både av förändringar i hydrologin och av planerade fysiska ändringar. De kraftigaste förändringarna sker på tätt bebyggda höghus- och industriområden.</p> <p>Det går att förhindra hydrologiska förändringar och näringsbelastning på vattendrag genom att i stadsplaneringen beakta de hydrologiska faktorerna och genom behandling av dagvattnet.</p> <p>Hantering av dag- och dräneringsvatten är en helhet, som berör fastigheter, kommuner, vattenverk och staten. De föreslagna åtgärderna gäller bl.a. skadeersättningsprocessen, grundandet av servitut, införandet av avloppssystem för dagvatten i planbestämmelserna samt miljövårdskontroll.</p>		
Nyckelord	stadshydrologi, dagvatten, bebyggd miljö, inverkan på vattendrag, dräneringsvatten från fastigheter		
Publikationsserie och nummer	Miljön i Finland 776		
Publikationens tema	Miljövård		
Projektets namn och nummer			
Finansiär/ uppdragsgivare			
Organisationer i projektgruppen	Miljöministeriet		
	ISSN 1238-7312	ISBN 951-731-318-7 (nid.) 951-731-319-5 (PDF)	
	Sidantal 116	Språk Finska	
	Offentlighet Offentlig	Pris	
Beställningar/ distribution	Edita Publishing Ab, Kundservice, PB 800, FIN-00043 Edita, Finland tel. +358 20 451 05, telefax +358 20 450 2380 e-mail: asiakaspalvelu.publishing@edita.fi, www-server: http://www.edita.fi/netmarket		
Förläggare	Miljöministeriet		
Tryckeri/ tryckningsort och -år	Edita Prima Ab, Helsingfors 2005		
Övriga uppgifter	Kontaktperson vid miljöministeriet: Jorma Kaloinen, tfn. (09)1603 9747		

Documentation page

Publisher	Ministry of the Environment	Date June 2005												
Author(s)	Pertti Vakkilainen, Jyrki Kotola and Jyrki Nurminen (eds.)													
Title of publication	Rakennetun ympäristön valumavedet ja niiden hallinta (Urban Waters and Runoff Water Management Practices in Built Environment)													
Parts of publication/ other project publications	Other project publications are listed in Appendix 1.													
Abstract	<p>Two research projects in the fields of urban hydrology and stormwater management were conducted during the second stage of the Finnish Environmental Cluster Programme: the Urban Waters and Stormwater Management Practices in Finland (RYVE) project and the Improving Legislation and Administration for Stormwater Management and Urbanized Area Drainage project.</p> <p>In RYVE urbanized area hydrology in Finland was studied including the assessment of stormwater induced pollution load on receiving waters and the assessment of changes in small watersheds brought about by urbanization. In the project concerning legislative and administrative aspects of urban hydrology a proposal was made composed of actions by which scattered and partly overlaid stormwater and drainage legislation can be simplified and misunderstandings and disputes avoided.</p> <p>Urbanization has a strong effect on watersheds and hydrology. Reduction of evapotranspiration and infiltration, increased surface runoff, lowering of groundwater table, and stormwater quality reduction are among examples of the adverse effects of urbanization on the hydrological cycle. Stormwater is a significant source of nutrient load to surface waters the effects of which are especially notable at the discharge outlet areas and within the receiving water bodies. Stream channels seldom remain unchanged following urbanization. The channel structure changes both due to disrupted hydrological measures and mechanical intervention. The most severe changes occur in streams associated with densely built residential and industrial sites.</p> <p>The hydrological changes and associated effects on watersheds brought about by urbanization are preventable by hydrologically sensitive urban planning and stormwater management.</p> <p>Stormwater and drainage water conveyance and management are an entity in which the stakeholders include real properties, municipalities, water treatment agencies, and in part also the government. The recommended actions involve damage compensation practices, easement delineation, stormwater sewers' inclusion into zoning ordinances, and environmental protection controls.</p>													
Keywords	urban hydrology, stormwater, built environment, watershed impact assessment, urbanized area drainage													
Publication series and number	The Finnish Environment 776													
Theme of publication	Environmental protection													
Project name and number, if any														
Financier/ commissioner	Ministry of the Environment													
Project organization	<table><tr><td>ISSN</td><td>ISBN</td></tr><tr><td>1238-7312</td><td>951-731-318-7 (nid.) 951-731-319-5 (PDF)</td></tr><tr><td>No. of pages</td><td>Language</td></tr><tr><td>116</td><td>Finnish</td></tr><tr><td>Restrictions</td><td>Price</td></tr><tr><td>For public use</td><td></td></tr></table>		ISSN	ISBN	1238-7312	951-731-318-7 (nid.) 951-731-319-5 (PDF)	No. of pages	Language	116	Finnish	Restrictions	Price	For public use	
ISSN	ISBN													
1238-7312	951-731-318-7 (nid.) 951-731-319-5 (PDF)													
No. of pages	Language													
116	Finnish													
Restrictions	Price													
For public use														
For sale at/ distributor	Edita Publishing Ltd, Box 800, FIN-00043 Edita, Finland tel. +358 20 451 05, telefax +358 20 450 2380 e-mail: asiakaspalvelu.publishing@edita.fi, www-server: http://www.edita.fi/netmarket													
Financier of publication	Ministry of the Environment													
Printing place and year	Edita Prima Ltd, Helsinki 2005													
Other information	Contact at the Ministry of the Environment: Jorma Kaloinen, phone +358 9 1603 9747													

